

La investigación reportada en esta tesis es parte de los programas de investigación del CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California).

La investigación fue financiada por el CONAHCYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías).

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México). El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo o titular de los Derechos de Autor.

**Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada, Baja California**



---

**Maestría en Ciencias  
en Ecología Marina**

---

**Variación costa-océano de la composición y abundancia de  
eufáusidos frente a Punta Banda-Punta Colonet, Baja  
California, durante un ciclo anual**

Tesis  
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

Presenta:

**Maribel Selene Gálvez Flores**

Ensenada, Baja California, México  
2024

Tesis defendida por  
**Maribel Selene Gálvez Flores**

y aprobada por el siguiente Comité

**Dra. Bertha Eugenia Lavaniegos Espejo**  
Directora de tesis

**Dra. Ma. Elena Solana Arellano**

**Dra. Beatriz Cordero Esquivel**



**Dr. Rafael Andrés Cabral Tena**  
Coordinador del Posgrado en Ecología Marina

**Dra. Ana Denise Re Araujo**  
Directora de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Maribel Selene Gálvez Flores** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

### **Variación costa-océano de la composición y abundancia de eufáusidos frente a Punta Banda-Punta Colonet, Baja California, durante un ciclo anual**

Resumen aprobado por:

Dra. Bertha Eugenia Lavaniegos Espejo  
**Directora de tesis**

Los estudios de variación estacional y espacial son importantes pues ayudan a una comparación más objetiva de la composición y abundancia de las especies, para así entender la distribución de los organismos y establecer las condiciones en las que puede habitar. Sin embargo, a la fecha, la mayoría de los trabajos sobre variabilidad temporal del zooplancton se han limitado a nivel de grupo funcional, mientras que los estudios con eufáusidos se han enfocado a diferencias interanuales y pocos mencionan las diferencias estacionales. El presente trabajo se realizó con eufáusidos recolectados durante 2011, año en que hubo anomalías negativas en la temperatura a causa del fenómeno La Niña. Se registraron 22 especies en 37 muestras analizadas provenientes de dos transectos, Punta Banda y Punta Colonet, Baja California. Aquellas especies con afinidad a aguas templadas (*Euphausia pacifica*, *Hansarsia difficilis*, *Thysanoessa gregaria* y *T. spinifera*) fueron las que tuvieron una mayor abundancia y frecuencia, mientras que aquellas con afinidad a aguas cálidas (*Nyctiphanes simplex* y *Euphausia eximia*) estuvieron casi ausentes. La variación estacional de las diferentes especies fue estadísticamente significativa exclusivamente para *T. gregaria* con mínimas abundancias en invierno. Sin embargo, cuando se analizó cada fase de desarrollo por separado, se encontraron diferencias estacionales significativas en las larvas calítopis de *Euphausia gibboides*, *Stylocheiron longicorne* y *H. difficilis*. Mientras los calítopis de *E. gibboides* y *S. longicorne* tuvieron mayores abundancias en primavera, *H. difficilis* tuvo las menores. También hubo diferencias en las larvas furcilia de *E. pacifica* con mayores abundancias tanto en invierno como en primavera. Espacialmente, se encontraron marcadas diferencias costa-océano en una o más de las fases de vida de varias especies (*E. gibboides*, *E. recurva*, *S. affine*, *S. longicorne*, *S. maximum*, *T. gregaria* y *T. spinifera*). Todas ellas tuvieron sus máximas abundancias en la zona oceánica, salvo por *T. spinifera* que fue más abundante en la zona costera. El análisis de correlación canónica mostró una relación positiva entre *T. spinifera* y la clorofila-a integrada, así como la temperatura a 200 m de profundidad. Mientras que la temperatura superficial tuvo una relación positiva con *T. gregaria* e inversa con *S. longicorne*.

**Palabras clave:** Eufáusidos, zooplancton, abundancia, Baja California, La Niña

Abstract of the thesis presented by **Maribel Selene Gálvez Flores** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Ecology Marine.

**Coast-ocean variation in the composition and abundance of euphausiids off Punta Banda-Punta Colonet, Baja California, over an annual cycle.**

Abstract approved by:

Dra. Bertha Eugenia Lavaniegos Espejo  
**Thesis Director**

Seasonal and spatial variation studies are important as they help to a more objective comparison about the composition and abundance of the species, thereby understanding the distribution of the organisms and establishing the conditions in which they can inhabit. However, most of the research about temporal variability of zooplankton are limited on functional group level, while euphausiid studies has been focused to interannual differences, with few mentioning seasonal differences. This research was performed with euphausiids collected during 2011, a year marked by negative temperature anomalies due to La Niña. A total of 22 species were identified from 37 samples collected in two transects off Punta Banda and Punta Colonet, Baja California. Species with affinity for temperate waters (*Euphausia pacifica*, *Hansarsia difficilis*, *Thysanoessa gregaria* y *T. spinifera*) exhibited the highest abundance and frequency, while species with affinities for warm waters (*Nyctiphanes simplex* y *Euphausia eximia*) were almost absent. Moderate seasonal variability was found in all species excepting significant differences in for *T. gregaria*, with minimal abundances in winter. However, when developmental phases were analyzed separately, significant seasonal differences were found in calyptopis larvae of *Euphausia gibboides*, *Stylocheiron longicorne* y *H. difficilis*. Calyptopis larvae of *E. gibboides* y *S. longicorne* had high abundances in spring, while *H. difficilis* had the lowest. There were also differences in furcilia larvae of *E. pacifica* with high abundances in winter and spring. Spatially, marked coastal-ocean differences were found in one or more life stages for several species (*E. gibboides*, *E. recurva*, *S. affine*, *S. longicorne*, *S. maximum*, *T. gregaria* y *T. spinifera*). All of them had their highest abundances in the oceanic zone, except for *T. spinifera*, which was more abundant in the coast zone. Canonical correlation analysis showed a positive relationship between *T. spinifera* and integrated chlorophyll-a, as well as the temperature at 200 m depth. Surface temperature had a positive relationship with *T. gregaria* and inverse relationship with *S. longicorne*.

**Keywords:** euphausiids, zooplankton, abundance, Baja California, La Niña

## Dedicatoria

A mis abuelas, quienes entendieron y apoyaron mi decisión, a pesar del dolor y la incertidumbre de la distancia.

## Agradecimientos

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) por aceptarme y permitirme realizar mis estudios en el Posgrado en Ecología Marina para así continuar con mi formación académica y cumplir parte de mis objetivos a largo plazo.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico brindado durante todo el tiempo que realicé mi maestría.

Al programa de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL) por las muestras colectadas para que este trabajo se llevara a cabo, así como a cada persona que ayudó en el muestreo.

Al Dr. Gaxiola por los datos proporcionados de clorofila-a.

A la Dra. Bertha E. Lavaniegos Espejo. Dra., gracias por aceptarme en su laboratorio. Por siempre tener el tiempo disponible para mí y guiarme en todo momento durante la tesis. También por el apoyo económico para que continuara en Ensenada hasta mi titulación. Es un placer aprender de una gran investigadora como usted. Gracias.

A las doctoras Elena Solana y Beatriz Cordero Esquivel por aceptar ser mis sinodales, por aconsejarme, enseñarme, corregirme, guiarme y por ser muy pacientes conmigo durante cada presentación de avances, así como por sus observaciones para mejorar este escrito.

A los técnicos del laboratorio José Luis Cadena y Guillermo Ortuño. José Luis, gracias por siempre recibirme amablemente cada que llegaba al laboratorio. Por resolver mis dudas y aconsejarme con todo lo relacionado en campo. Memo, gracias por todos los días que convivimos en el laboratorio, por compartir tu conocimiento conmigo sobre muchas cosas que no identificaba en las muestras. Chismear sobre OMNIS era lo que más disfrutaba.

Al Dr. Rosales y a “los Rosalios” por todas esas salidas de campo a San Quintín y sus alrededores, así como actividades fuera de clases. Dr. Rosales, le agradezco por la oportunidad que me dio de salir a campo con ustedes. Amé todos y cada uno de esos días porque, como usted dice, fueron días fuera de la rutina en los que aprendí sobre otros organismos, y al mismo tiempo, me divertía por la convivencia con muy buena compañía y excelentes paisajes y situaciones.

A mi familia. Papás, gracias por apoyarme siempre en todas las decisiones que he tomado hasta el momento, sé que han sido grandes cambios para todos, pero sin su apoyo no estaría en donde estoy. Hermanos, gracias por mantener una buena comunicación conmigo y apoyarnos en nuestras decisiones. Los amo a todos.

A mi Amix Gladys. Amix, a pesar de convivir por poco tiempo, agradezco la confianza que me diste y todo el tiempo que pasamos juntas. Amé llevar una rutina contigo, no solo deportiva, sino también académica y casi, casi, de hogar. Me ayudaste a aprender, entender y resolver varios aspectos de mi vida.

A mis amiguitos Isis, Oscar, Majo, Will e Iskra. Isis, gracias por todos esos momentos que compartimos desde formamos equipo para un trabajo, por esas risas en pláticas serias y por no dejarme sola en mis locuras. Majo, gracias por preocuparte por mí y por, sin saber, mostrarme que querer es poder. Eres una excelente persona a la que le deseo lo mejor siempre. Oscar, ¡che vato! Gracias por todas esas experiencias compartidas, definitivamente amaba más bajar a su casa que quedarme en la mía. Will, agradezco mucho que te hayas cruzado en mi camino, hiciste más ameno y divertido mi tiempo en Ensenada. Gracias por siempre poder contar contigo y por todas esas pláticas de actualización y chisme que tenemos (por cierto, ya nos hace falta una, eh). Iskra, amiguita, agradezco mucho todo ese apoyo que me brindaste desde que llegué a Ensenada. Agradezco que siempre estuvieras para mí y que me siguieras a todas y cada una de mis locuras, desde pequeñas salidas hasta pijamadas.

A Miguel Garduño (César) por todo el tiempo compartido desde esa primera vez en el gimnasio. Quiero que sepas, Pablo, que aprendí mucho a tu lado, y aunque aún no lo domine en la práctica, estoy dando (y daré) todo de mí para que estos aprendizajes sean lo que siempre me acompañen. Eres una excelente persona a la cual admiro mucho. Amo infinitamente compartir mi tiempo y espacio contigo.

A Angy, mi amorcito y mi socia, por siempre estar para mí en mis buenos y malos momentos. Por todas esas pláticas de reflexión, esos chismes, risas y por seguirme apoyando y alentando a superar cada uno de nuestros objetivos. Son lo mejor de mi vida que quiero tener siempre. Las amo.

## Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	ix
Lista de tablas.....	xi
<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Justificación.....	7
1.3 Hipótesis.....	7
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	8
<b>Capítulo 2. Metodología.....</b>	<b>9</b>
2.1 Área de estudio.....	9
2.2 Recolección de muestras de zooplancton.....	9
2.3 Lances hidrográficos.....	10
2.4 Análisis de laboratorio.....	10
2.5 Análisis de datos.....	11
2.6 Comparaciones temporales y espaciales.....	12
2.7 Análisis de similitud.....	12
2.8 Correlación entre la comunidad y las variables ambientales.....	13

<b>Capítulo 3. Resultados.....</b>	<b>14</b>
3.1 Condiciones ambientales .....	14
3.1.1 Temperatura superficial .....	14
3.1.2 Salinidad superficial.....	15
3.1.3 Clorofila-a superficial.....	16
3.1.4 Perfil vertical de clorofila-a.....	17
3.1.5 Índice de Surgencias.....	18
3.2 Comunidad de eufáusidos.....	19
3.2.1 Eufáusidos totales .....	19
3.2.2 Composición de especies .....	19
3.2.3 Fases de vida .....	23
3.3 Análisis de la comunidad de eufáusidos .....	27
3.4 Acoplamiento físico-biológico .....	29
3.5 Comparación interanual.....	31
<b>Capítulo 4. Discusión .....</b>	<b>34</b>
<b>Capítulo 5. Conclusiones.....</b>	<b>41</b>
<b>Literatura citada .....</b>	<b>42</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>47</b>

## Lista de figuras

Figura	Página
<b>Figura 1.</b> Características generales de los eufáusidos (modificada por Brinton <i>et al.</i> , 2000).....	1
<b>Figura 2.</b> Fases del ciclo de vida de los eufáusidos utilizando como ejemplo la especie <i>Euphausia gibboides</i> (Brinton <i>et al.</i> , 2000).....	2
<b>Figura 3.</b> Estaciones de muestreo frente a la costa noroccidental de Baja California.....	10
<b>Figura 4.</b> Temperatura superficial promedio $\pm$ desviación estándar (a) y anomalías de temperatura superficial (b) durante el periodo 1998-2011, basadas en datos de las líneas 100 y 103 del programa IMECOCAL. El recuadro rosa indica el año analizado en la presente tesis.....	14
<b>Figura 5.</b> Salinidad superficial promedio $\pm$ desviación estándar (a) y anomalías de salinidad superficial (b) durante el periodo 1998-2011, basadas en datos de las líneas 100 y 103 del programa IMECOCAL. El recuadro rosa indica el año analizado en la presente tesis.....	15
<b>Figura 6.</b> Concentración de clorofila-a promedio $\pm$ desviación estándar (a) y anomalías de la concentración de clorofila-a (b) durante el periodo 1998-2011, basadas en datos de las líneas 100 y 103 del programa IMECOCAL. El recuadro rosa indica el año analizado en la presente tesis. ..	16
<b>Figura 7.</b> Perfil vertical de la concentración de clorofila-a en invierno (a), primavera (b), verano (c) y otoño (d). Se muestra el promedio $\pm$ desviación estándar. ....	17
<b>Figura 8.</b> Índice mensual de surgencias (a) y anomalías de surgencias (b) durante el periodo 1998-2011 en la estación 33°N 119°W, basadas en datos obtenidos del <i>Pacific Fisheries Environmental Laboratory (NOAA)</i> . El recuadro rosa indica el año analizado en la presente tesis. ....	18
<b>Figura 9.</b> Mediana estacional de <i>Thysanoessa gregaria</i> durante 2011. Los puntos azules muestran el promedio. ....	22
<b>Figura 10.</b> Mediana zonal de las especies comunes y abundantes de eufáusidos durante 2011 que tuvieron diferencias estadísticamente significativas. Los puntos representan el promedio.....	23
<b>Figura 11.</b> Abundancia relativa de las etapas de vida (caliátopis, furcilia, juveniles y adultos) de eufáusidos durante 2011.....	24
<b>Figura 12.</b> Abundancia relativa promedio de las etapas de vida (larvas caliátopis, larvas furcilia, juveniles y adultos) de las especies de eufáusidos más abundantes durante 2011. Nótese que las larvas de <i>E. recurva</i> forman parte del subconjunto de “ <i>Euphausia</i> (larvas Grupo 1A)” que no se muestran en la gráfica.....	24
<b>Figura 13.</b> Mediana estacional de las etapas de vida de especies con diferencias estadísticamente significativas: Caliátopis de <i>E. gibboides</i> (a), <i>H. difficilis</i> (b) <i>S. longicorne</i> (c) y furcilia de <i>E. pacifica</i> (d). Los puntos azules muestran el promedio estacional.....	25
<b>Figura 14.</b> Mediana zonal de las etapas de vida de especies que tuvieron diferencias estadísticamente significativas. Furcilia (a), Juveniles (b) y Adultos (c). Los puntos representan el promedio. ....	27

- Figura 15.** Dendrograma de las estaciones muestreadas durante 2011. En el eje x se indica la temporada y número de estación oceanográfica. Las distintas agrupaciones están indicadas con recuadros. En el eje x se indica el número de estación precedida por una letra que pertenece a la temporada: I= Invierno, P= primavera, V= verano, O= otoño. Los círculos sólidos corresponden a estaciones costeras y círculos huecos a muestras oceánicas. Los colores de los símbolos corresponden a la estacionalidad: Rosa (invierno), azul: (primavera), morado (verano) y verde (otoño)..... 28
- Figura 16.** Escalamiento multidimensional (MDS) de las estaciones muestreadas durante 2011. Los símbolos indican la temporada del año y la zona. .... 29
- Figura 17.** Análisis de Correlación Canónica (ACC) entre variables dependientes (nueve especies sobresalientes) e independientes (variables ambientales) de las estaciones muestreadas durante 2011. Abreviaturas: temperatura superficial (temp), salinidad superficial (sal), clorofila integrada (clor), temperatura a 200 m (temp200), salinidad a 200 m (sal200), *E. gibboides* (E.g), *E. pacifica* (E. p), *E. recurva* (E.r), *H. difficilis* (H.d), *S. affine* (S. aff), *S.longicorne* (S.l), *S. máximo* (S.m), *T.gregaria* (T.g), *T. spinifera* (T.s)..... 31
- Figura 18.** Dendrograma de las estaciones muestreadas durante un año neutro (2005) y un año frío (2011). En el eje x se indica el año, la temporada y número de estación oceanográfica. Las distintas agrupaciones están indicadas con recuadros. En el eje x se indica el número de estación precedida por una letra que pertenece al año y otra que corresponde a la temporada: N= 2005, F= 2011, I= Invierno, P= primavera, V= verano, O= otoño. Los triángulos sólidos corresponden a 2005 y los triángulos invertidos huecos a 2011. Los colores de los símbolos corresponden a la estacionalidad: Rosa (invierno), azul: (primavera), morado (verano) y verde (otoño). .... 32
- Figura 19.** Escalamiento multidimensional (MDS) de las estaciones muestreadas durante 2005 y 2011. Los símbolos indican el año y las diferentes temporadas. .... 33

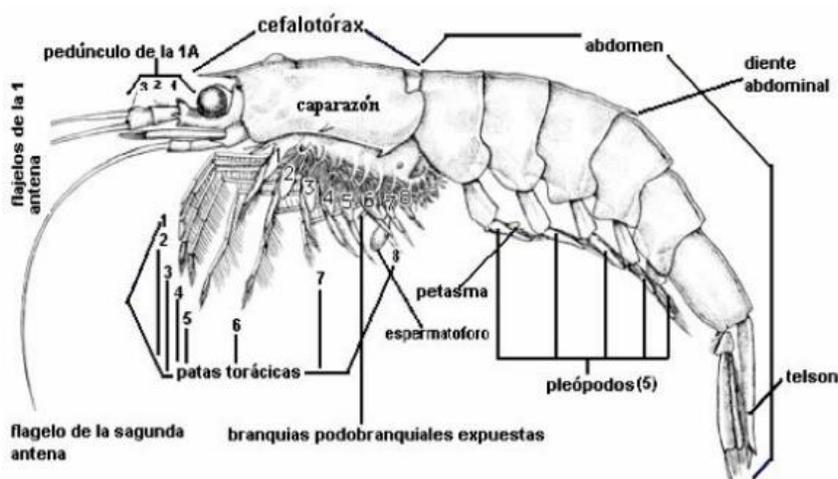
## Lista de tablas

Tabla	Página
<b>Tabla 1.</b> Muestras de zooplancton recolectadas durante horas nocturnas por crucero.....	10
<b>Tabla 2.</b> Especies de eufáusidos identificadas en el área de estudio durante el año 2011. Se indica la frecuencia, abundancia media global ( $\pm$ desviación estándar) y mediana (n=37). *Especies que únicamente incluyen juveniles y adultos debido a que sus larvas se agruparon en el conjunto <i>Euphausia</i> (larvas Grupo 1 A).....	20
<b>Tabla 3.</b> Comparaciones estacionales (Kruskal-Wallis) de la abundancia en las especies más comunes de eufáusidos durante 2011. Los valores remarcados en rojo indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). .....	21
<b>Tabla 4.</b> Comparaciones espaciales (Mann-Whitney) de la abundancia en las especies comunes de eufáusidos entre los transectos 100 y 103 (latitudinal) y entre estaciones costeras y oceánicas (zonal) durante 2011. Los valores remarcados en rojo indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). .....	23
<b>Tabla 5.</b> Análisis de Correlación Canónica para las 9 variables dependientes y 5 independientes. <b>A)</b> Resumen estadístico de las correlaciones. <b>B)</b> Matriz completa de las correlaciones para cada variante. En rojo se muestran aquellos valores con correlaciones $> 0.5$ . Abreviaturas: temperatura superficial (temp), salinidad superficial (sal), clorofila-a integrada (clor), temperatura a 200 m (temp200), salinidad a 200 m (sal200), <i>E. gibboides</i> (E.g), <i>E. pacifica</i> (E. p), <i>E. recurva</i> (E.r), <i>H. difficilis</i> (H.d), <i>S. affine</i> (S. aff), <i>S. longicorne</i> (S.l), <i>S. máximo</i> (S.m), <i>T. gregaria</i> (T.g), <i>T. spinifera</i> (T.s).....	30
<b>Tabla 6.</b> Resultados estadísticos de la comparación no paramétrica de las abundancias (ind/1000 m <sup>3</sup> ) entre estaciones del año de cada fase de desarrollo de las especies más relevantes. Abreviaturas: Sin Presencia (SP). .....	47
<b>Tabla 7.</b> Resultados estadísticos de la comparación no paramétrica de las abundancias (ind/1000 m <sup>3</sup> ) entre transectos latitudinales de cada fase de desarrollo de las especies más relevantes. Abreviaturas: Sin Presencia (SP). .....	48
<b>Tabla 8.</b> Resultados estadísticos de la comparación no paramétrica de las abundancias (ind/1000 m <sup>3</sup> ) entre zonas (costera y oceánica) de cada fase de desarrollo de las especies más relevantes. Abreviaturas: Solo océanos (SO); Sin Presencia (SP); Solo Costa (SC). .....	49
<b>Tabla 9.</b> Correlación de Pearson entre las variables dependientes e independientes de los datos colectados durante 2011. Los números en naranja muestran aquellos valores con correlaciones moderadas ( $0.7 < r > 0.4$ ; $p < 0.005$ ), mientras que en rojo se muestran aquellos valores con altas correlaciones ( $r > 0.7$ ; $p < 0.005$ ). .....	50
<b>Tabla 10. A)</b> Análisis de Correlación Canónica para las 22 variables dependientes y 5 independientes. <b>B)</b> Matriz completa de las correlaciones para cada variante. En rojo se muestran correlaciones mayores a 0.5. Abreviaturas: temperatura superficial (temp <sub>sup</sub> ), salinidad superficial (sal <sub>sup</sub> ), clorofila integrada (clor), temperatura a 200 m (temp200), salinidad a 200 m (sal200), <i>E. eximia</i> (E.e), <i>E. gibboides</i> (E.g), <i>E. hemigibba</i> (E. h), <i>E. mutica</i> (E. m), <i>E. pacifica</i> (E. p), <i>E. recurva</i> (E.r), <i>H.</i>	

*atlantica* (H. a), *H. difficilis* (H.d), *H. gracilis* (H. g), *H. tenella* (H. t), *N. flexipes* (N. f), *N. simplex* (N. s), *S. abbreviatum* (S. abb) *S. affine* (S. aff), *S. longicorne* (S.l), *S. maximum* (S.m), *S. suhmi* (S. s), *T. astylata* (T. a), *T. egregia* (T. e), *T. gregaria* (T.g), *T. orientalis* (T. o) y *T. spinifera* (T.s). ..... 51

## Capítulo 1. Introducción

Los eufáusidos son uno de los grupos con mayor abundancia en el ecosistema pelágico (Mauchline y Fisher, 1969), después de los copépodos. Estos organismos forman densos enjambres cercanos a la superficie, lo que induce la atracción de varios depredadores. Su alta biomasa y contenido de lípidos y proteínas hace que sean una fuente de alimento nutritiva para invertebrados, aves, mamíferos marinos y peces de importancia comercial como sardina, merluza, salmones y atunes (Brinton *et al.*, 2000). De igual manera, desempeñan un papel importante como organismos bioindicadores de masas de agua y cambios hidrográficos (Brinton y Townsend, 1980) pues su biogeografía está bien establecida (Brinton *et al.*, 2000) y son de fácil captura (Neshyba, 1986). Por ejemplo, la presencia de *Euphausia eximia*, afín a aguas cálidas, indica el avance de aguas ecuatoriales hacia los polos. Por el contrario, el incremento de *Euphausia pacifica*, afín a aguas templadas, indica influencia de agua subártica.

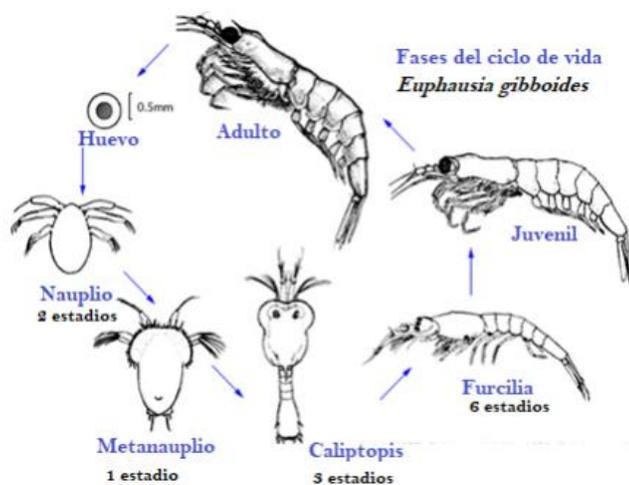


**Figura 1.** Características generales de los eufáusidos (modificada por Brinton *et al.*, 2000).

Los eufáusidos son pequeños crustáceos parecidos a los camarones, comúnmente conocidos como krill, dichos organismos pueden emitir bioluminiscencia mediante fotóforos presentes en el abdomen y otras partes del cuerpo. A ello deben su nombre, “Euphausia”, palabra derivada del griego, que significa “eu” bueno o verdadero y “phausia” brillar o emitir luz (Brinton *et al.*, 2000). Su plan corporal básico incluye cinco segmentos cefálicos, ocho torácicos (que fusionan para formar el cefalotórax) y seis segmentos abdominales (Figura 1). El cefalotórax está cubierto por un caparazón, pero deja las branquias expuestas. Los apéndices cefálicos consisten en un par de antenas con pedúnculo y dos flagelos, un segundo par de antenas con un flagelo y una escama, así como partes bucales (mandíbulas, maxilas y labrum). El tórax presenta ocho pares de patas o pereiópodos provistos de setas que sirven para la alimentación, mientras

que en el abdomen los primeros cinco segmentos están provistos de patas natatorias o pleópodos y el sexto segmento porta los urópodos y el telson (Brinton, 1996).

Los eufáusidos tienen dos estrategias reproductivas: 1) desove del huevo directamente al océano o 2) acarrean los huevos en un saco ovífero hasta su eclosión. Durante su desarrollo, los eufáusidos pasan por cuatro fases larvales: nauplio, metanauplio, caliptopis y furcilia (Figura 2). Las larvas de las especies que desovan sus huevos libremente al agua eclosionan en la fase de nauplio, mientras que las que las desovan dentro del ovisaco eclosionan en la fase de metanauplio (o pseudometanauplio).



**Figura 2.** Fases del ciclo de vida de los eufáusidos utilizando como ejemplo la especie *Euphausia gibboides* (Brinton et al., 2000).

En las primeras fases larvares los organismos tienen un cuerpo ovalado no segmentado con tres pares de apéndices funcionales en los nauplios, mientras que en los metanauplios se reducen a dos. Debido a su pequeño tamaño y corto tiempo de duración, las fases de nauplio, pseudometanauplio y metanauplio no se recolectan en muestreos con red, pero sí las de caliptopis y furcilia. En la fase caliptopis el caparazón cubre completamente los ojos, mientras que las mandíbulas y el primer y segundo maxilar son funcionales. En esta fase, existen tres estadios sucesivos de caliptopis que difieren en la segmentación del abdomen; en la etapa 2 el abdomen tiene 5 segmentos, mientras que en la etapa 3 se forma el sexto, con presencia de urópodos y telson. En la fase furcilia los ojos son pedunculados y sobresalen del caparazón, las segundas antenas cambian de forma y de función, pues pasan de ser nadadoras a sensoriales. Se desarrollan los apéndices torácicos, los pleópodos y los fotóforos torácicos y abdominales, además de la reducción de espinas del telson. La diferenciación de los pleópodos ocurre en las primeras tres o cuatro estadios. El número de estadios furcilia que se requiere para que un eufáusido llegue a la fase adolescente puede

variar, pero es más comúnmente de seis. La fase juvenil comienza cuando el telson tiene una espina terminal y dos pares de espinas posterolaterales como en la fase adulta. La segunda antena ya no es natatoria y hay 5 pares de pleópodos setosos. Finalmente, la etapa adulta comienza con la madurez sexual de los organismos la cual está determinada por el desarrollo de los petasmas en machos y el ovario en hembras. En este momento, los organismos son capaces de reproducirse (Brinton, 1996).

Se ha registrado 11 géneros de eufáusidos, cinco se consideran más relevantes en términos de número de especies y la extensión del área que ocupan en el océano, mientras que los restantes se clasifican como menos prominentes (Brinton, 1962). Actualmente se han descrito 85 especies de eufáusidos, cuya presencia varía dependiendo de la región (Gómez-Gutiérrez, 1992). Las densidades más altas se han registrado en lugares donde la productividad primaria es elevada, por ejemplo, en los ecosistemas de frontera oriental, que, a pesar de representar una pequeña fracción de la superficie de los océanos, son considerados las regiones más productivas del mundo ya que sustentan un gran porcentaje de pesquerías mundiales (Rebstock, 2003). En el Sistema de la Corriente de California (SCC), se ha estimado que los eufáusidos constituyen del 20-40% de la biomasa total del zooplancton (Brinton *et al.*, 2000) con un registro de 34 especies (Pares-Escobar *et al.*, 2018).

El SCC se extiende frente a la costa occidental de América del norte, desde la zona de transición que separa los giros del Pacífico Norte Subtropical y el de Alaska, Frente a British Columbia, Canadá; hasta la punta de la península de Baja California, México (Douglass *et al.*, 2006). Dentro de dicho sistema ocurren diversos patrones y procesos, como las surgencias costeras impulsadas por el viento y una circulación compleja dominada en la superficie por la Corriente de California (CC). Dicha corriente fluye hacia el ecuador y tiene una anchura de unos 1000 km y un grosor de 500 m superiores (Huyer *et al.*, 1991, 1998). Además de la CC, la CU (*California Undercurrent*) es un flujo angosto (100 km) y se desplaza hacia el polo, a lo largo de la pendiente continental. Estacionalmente se observa la formación de un remolino en la región del sur de California y de un contraflujo costero superficial (otoño-invierno), denominado Contracorriente Costera o Corriente de Davidson. Se ha hipotetizado que el flujo costero podría ser un fenómeno generalizado en todo el SCC (Lynn y Simpson, 1987; Checkley y Barth, 2009).

La variabilidad estacional en la intensidad de los vientos es de gran relevancia en el SCC, produciendo cambios en la intensidad de la corriente y de las surgencias costeras. Los vientos hacia el ecuador durante primavera-verano impulsan el flujo mar adentro en una capa superficial de Ekman, provocando un afloramiento de agua profunda, fría, salada y rica en nutrientes cerca de la costa (Checkley y Barth, 2009). La intensificación de las surgencias deriva en un aumento en la productividad primaria y de toda la cadena

trófica durante primavera y verano. A escala interanual, el SCC es afectado por procesos que afectan a todo el Océano Pacífico, como los eventos El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) (Lavaniegos *et al.*, 2002; Checkley y Barth, 2009; Durazo *et al.*, 2010). El ENOS es un fenómeno no cíclico que ocurre en las aguas ecuatoriales del Pacífico Tropical cada 3–7 años, como resultado del acoplamiento de la atmósfera y el océano. Este fenómeno tiene dos periodos, uno de calentamiento conocido como “El Niño”, en el que hay un aumento de temperatura; y uno de enfriamiento conocido como “La Niña”, en el que la temperatura disminuye (Talley *et al.*, 2011).

## 1.1 Antecedentes

Entre los primeros estudios taxonómicos de los eufáusidos, Boden *et al.* (1955) proporcionaron una clave taxonómica con descripciones completas de eufáusidos del Pacífico Norte, las cuales facilitan el estudio de su biología y ecología. Posteriormente, Brinton (1962) realizó un estudio biogeográfico de eufáusidos en la totalidad del océano Pacífico. Dicho estudio proporciona información taxonómica y ecológica, así como mapas de distribución para cada especie, incluyendo la distribución vertical y horizontal y señala que, de los diez géneros registrados, seis tienen especies que habitan en una zona mesopelágica, con profundidades de entre 500-1500 m (*Thysanopoda*, *Euphausia*, *Thysanoessa*, *Nematoscelis*, *Nematobranchion* y *Stylocheiron*), mientras que las otras cuatro son epipelágicas (< 500 m) y discute su distribución en función de las masas de agua.

En el Pacífico, las principales masas de agua son: subártica, central del Pacífico norte; ecuatorial, central del Pacífico sur y subantártica. Las regiones de borde oriental en latitudes medias son denominadas zonas de transición. Dichas aguas tienen asociadas especies características, por ejemplo, el agua subártica tiene a *Thysanoessa longipes* y *Tessarabrachion oculatus*. La zona de transición, incluyendo la Corriente de California, tiene a *Thysanoessa gregaria* y *Hansarsia difficilis*. En los giros centrales se encuentran *Hansarsia atlantica* y *Euphausia brevis*. Finalmente, el agua ecuatorial tiene a *Euphausia diomediae* y *Euphausia distinguisheda*.

La distribución de eufáusidos en el SCC fue posteriormente abordada por Brinton (1967; 1973) en dos atlas, en los que detalló la distribución de larvas (furchilia, principalmente), así como para la población total (incluyendo juveniles y adultos).

También se han realizado varios estudios relacionados con la distribución y abundancia de especies

dominantes de eufáusidos. Lavaniegos (1994) realizó un estudio sobre la dinámica poblacional de *Nyctiphanes simplex* en Bahía Vizcaíno y aguas adyacentes. Encontró que la especie, a pesar de reproducirse todo el año, presentaba un mayor crecimiento larval y patrones de desarrollo más cortos en la temporada de surgencias por una alta productividad que proporciona abundante alimento a *N. simplex*. Posteriormente, Lavaniegos (1995) analizó la producción secundaria de esta especie en Bahía Vizcaíno y encontró hembras reproductoras sólo en la temporada de verano-otoño, lo cual podría obedecer a la retención de los organismos por el remolino que se forma al interior de la bahía.

Por su parte, Gómez (1995) describió la dinámica poblacional y distribución de los eufáusidos *Nyctiphanes simplex* y *Euphausia eximia* frente a Bahía Magdalena en la costa occidental de Baja California durante 1986-1987, donde *E. eximia* tuvo su máxima abundancia en aguas oceánicas, mientras que *N. simplex* se registró con altas densidades en la zona somera. Posteriormente Gómez-Gutiérrez *et al.* (1996) estudiaron la producción secundaria de *N. simplex* en la plataforma costera en torno a Bahía Magdalena y encontraron que fue mayor durante primavera-verano y representó un 25% del total estimado en Bahía Vizcaíno (Lavaniegos, 1995).

Gómez-Gutiérrez *et al.* (1995) reportaron que durante El Niño 1986-1987 la comunidad de eufáusidos mostró una alta proporción de especies tropicales y ecuatoriales; así mismo, que las especies de afinidad templada como *E. pacifica* y *T. gregaria* abandonaron sus áreas reproductivas, y que *N. simplex* fue la especie dominante cerca de la costa.

A mayores escalas temporales, es relevante el estudio de Brinton y Townsend (2003), en el que se analizó la variabilidad decadal de la abundancia de distintas especies de eufáusidos en épocas de primavera y verano de 1950-2002, en distintas regiones del SCC. De entre las especies registradas *E. pacifica* y *T. spinifera* estuvieron asociadas a bajas temperaturas, mientras que *E. recurva*, *E. eximia* y *E. gibboides* aumentaban durante los eventos cálidos. La comparación con los índices indicó correlaciones significativas con las especies de agua cálidas, pero fue más notable en la costa con *N. simplex*. De igual manera, *E. pacifica* fue la especie más dominante y ampliamente distribuida de todas las especies de *Euphausia*.

Estudios derivados del programa IMECOCAL han analizado exhaustivamente la respuesta de las especies de eufáusidos a las perturbaciones ocasionadas por los eventos del El Niño 1997-1998 y La Niña 1998-1999 (Linacre, 2004; Ambriz-Arreola, 2004, 2007; Lavaniegos *et al.*, 2010), así como eventos de intrusión de agua subártica (julio, 2002) o intensificaciones de surgencia (Lavaniegos y Ambriz-Arreola, 2012). Ellos han registrado que, aquellas especies con afinidad a aguas tropicales y subtropicales aumentan durante la fase

cálida, mientras que las especies con afinidad a aguas templadas desploman en abundancia con la transición a condiciones frías, seguida de la recuperación de las especies típicas de la Corriente de California (*N. difficilis*, *N. simplex*, *T. gregaria*, *E. pacifica* y *E. gibboides*). Además, han observado una marcada diferencia entre regiones costeras y oceánicas, con mayor diversidad en esta última.

Posteriormente, Parés-Escobar *et al.* (2018) analizaron cambios interanuales en la biomasa de eufáusidos en un periodo más amplio (1998-2008), pero únicamente considerando los veranos. Los autores realizaron una comparación regional donde la zona norte tuvo una menor biomasa de eufáusidos comparada con la región centro y sur. Regionalmente, la especie dominante en las zonas norte y centro fue *N. difficilis*, mientras que *E. pacifica* destaca en segundo lugar en la zona norte, pero *E. gibboides* en la zona sur. En contraste, en la zona sur *N. difficilis* y *E. gibboides* disminuyeron, siendo *E. eximia* la especie que predominó con un 45% de biomasa, mientras *N. simplex* y *N. flexipes* aumentaron.

Durante años recientes se han registrado la ocurrencia de ondas cálidas marinas, como la que experimentó el Pacífico nororiental en 2014-2015 (El Blob), seguido por un evento El Niño en 2015-2016. Durante dicho periodo cálido, Lavaniegos *et al.* (2019) observaron anomalías negativas en la biomasa de eufáusidos de la zona de transición de la Corriente de California, la cual atribuyeron a las bajas concentraciones de clorofila y una temperatura superficial elevada. Especies que usualmente dominan en la zona de transición, como *E. pacifica* y *N. difficilis* disminuyeron aproximadamente un 95% con relación a años anteriores (1999-2010). Por el contrario, *E. gibboides* y *E. eximia* tuvieron anomalías positivas en 2014-2015, coincidiendo con respuestas similares durante El Niño 1998. Así también, la biomasa de la especie costera *Nyctiphanes simplex* mostró anomalías negativas durante el Blob pero no durante El Niño 2015-2016, mientras las especies tropicales *Euphausia eximia* y *Euphausia recurva* aumentaron en biomasa durante el Blob en 2014 con relación a años anteriores.

Dado las variables de respuesta de los grupos de zooplancton a los cambios estacionales e interanuales, es necesario profundizar en lo que ocurre a nivel especie y analizar sus fluctuaciones estacionales e interanuales. Además, dado que existe un vacío de información sobre la composición de especies de eufáusidos entre 2009 y 2014, esta tesis propone contribuir a analizar la variación estacional durante un ciclo anual. El año seleccionado fue 2011, ya que cuenta con la mejor cobertura temporal. Con cuatro cruceros realizados. Durante 2011 se registró un evento La Niña, por lo que se espera observar la influencia de dicho evento en la estructura de la comunidad.

## 1.2 Justificación

Los eufáusidos son uno de los grupos con mayor abundancia en el ecosistema pelágico. Constituyen un eslabón fundamental de las cadenas tróficas marinas, siendo consumidos por una diversidad de depredadores, tales como macroinvertebrados, peces, mamíferos y aves marinas. Un estudio de la variación estacional y espacial de eufáusidos puede contribuir a determinar la intensidad de los cambios en las comunidades pelágicas a lo largo del año. De igual manera, permite realizar comparaciones de la composición y abundancia de especies con estudios anteriores, esclarecer su variabilidad interanual, además de contribuir a la construcción de series temporales de largo plazo que posibiliten una caracterización más objetiva de las comunidades de eufáusidos. Finalmente, debido a que el año analizado presentó anomalías frías por el evento de La Niña 2010-2012, los datos obtenidos podrían compararse con un año “relativamente normal” para determinar la magnitud de las diferencias.

## 1.3 Hipótesis

- Debido a que en la temporada de muestreo se presentó una disminución en la temperatura, se espera observar mayores abundancias de las especies con afinidad templada.
- A causa de los cambios estacionales en la actividad de surgencias y productividad fitoplanctónica asociada, se espera registrar un incremento en la abundancia de eufáusidos durante la primavera en el periodo de estudio.
- Espacialmente, se espera observar diferencias entre las regiones costera y oceánica en la composición de especies y sus abundancias.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general

Caracterizar la variación estacional y espacial de la comunidad de eufáusidos con base en las abundancias de especies, frente a la región de Punta Banda-Punta Colonet, Baja California, durante un ciclo anual

(2011).

#### 1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la composición de especies de eufáusidos y sus abundancias en sus diferentes fases de desarrollo (caliopsis, furcilia, juvenil y adulto).
- Comparar la abundancia estacional, latitudinal y zonal de las especies dominantes de eufáusidos, así como cada una de sus fases de desarrollo.
- Relacionar la variación en la composición y abundancia de especies de eufáusidos con las variables ambientales (temperatura y salinidad superficial, clorofila integrada y temperatura y salinidad a 200 m.).
- Comparar la estructura de la comunidad de eufáusidos con datos previos (2005).

## Capítulo 2. Metodología

---

### 2.1 Área de estudio

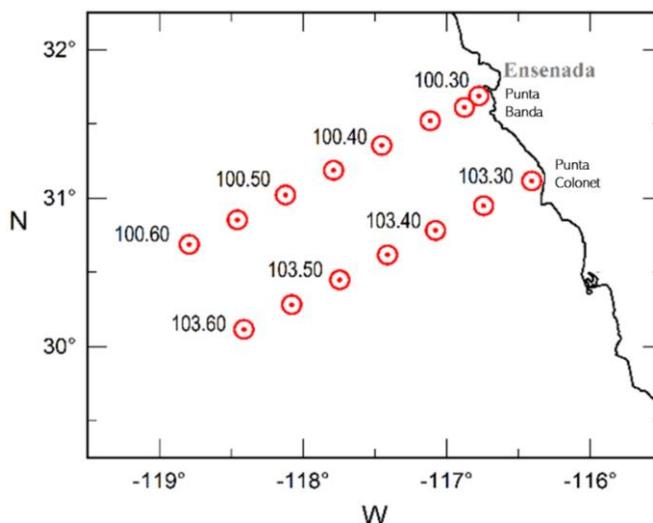
La región de estudio está comprendida entre las latitudes de Punta Banda y Punta Colonet, frente al extremo norte de la costa occidental de Baja California (Figura 3). Dicha región forma parte del SCC y es considerada como una zona de transición (Roden, 1971; Durazo *et al.*, 2010) debido a que confluyen varias masas de agua. El agua subártica (ASA) es fría, de baja salinidad, rica en nutrientes y es transportada hacia el ecuador (Lynn y Simpson, 1987; Checkley y Barth, 2009); el agua subtropical superficial (AStS) es cálida, más salina, pobre en nutrientes y es característica del giro subtropical del Pacífico Norte. También la Contracorriente Subsuperficial de California lleva agua ecuatorial subsuperficial (AESs), cálida, salina, baja en oxígeno, pero rica en nutrientes (Lynn y Simpson, 1987). El agua tropical superficial (ATS) característica del Pacífico tropical centroamericano, es de baja salinidad y tiene poca influencia en la región de estudio.

### 2.2 Recolección de muestras de zooplancton

Las muestras de zooplancton provienen de cruceros realizados por el programa de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL) a bordo del buque Francisco de Ulloa durante enero, mayo, julio y octubre de 2011, y se designaron como 1101, 1105, 1107 y 1110, respectivamente (Tabla 1, Figura 3). Se seleccionaron dos transectos de la zona norte, uno en frente a Punta Banda (línea 100) y el otro frente a Punta Colonet (línea 103). La separación entre transectos es de 74 km, mientras que entre las estaciones dentro del transecto es de 37 km.

Las muestras de zooplancton se recolectaron por medio de arrastres oblicuos entre la superficie y 210 m de profundidad o desde 10 m sobre el fondo en estaciones poco profundas. Se utilizó una red tipo bongo de 71 cm de diámetro y 0.5 mm de abertura de malla. Se colocó un flujómetro en la boca de la red para medir el volumen de agua filtrada. Las muestras fueron fijadas con formaldehído al 4% neutralizado con borato de sodio.

En la presente investigación se seleccionaron únicamente las muestras nocturnas para evitar la variabilidad debida a la migración vertical de los organismos (Tabla 1).



**Figura 3.** Estaciones de muestreo frente a la costa noroccidental de Baja California.

**Tabla 1.** Muestras de zooplancton recolectadas durante horas nocturnas por crucero.

Crucero	Fecha	Número de muestras
IMECOCAL 1101	20-23 enero	9
IMECOCAL 1104	04-09 mayo	9
IMECOCAL 1107	25-27 julio	8
IMECOCAL 1110	04-09 octubre	11

## 2.3 Lances hidrográficos

En cada estación de muestreo se realizaron lances de CTD-roseta (Modelo Seabird) para la toma de datos hidrográficos de salinidad y temperatura y, a su vez, se tomaron de muestras de agua con botellas Niskin para clorofila-a a diferentes profundidades (0, 10, 20, 50, 100, 150 y 200 m). El agua recolectada se filtró a través de filtros GF/F, los cuales se congelaron para su posterior análisis en el laboratorio (Gaxiola-Castro *et al.*, 2010).

## 2.4 Análisis de laboratorio

Para la extracción de clorofila-a se utilizó la técnica de Holm Hansen *et al.* (1965), modificada por Venrick

y Hayward (1984), que consiste en almacenar las muestras durante 24 horas bajo condiciones oscuras y de baja temperatura con acetona al 90%, para posteriormente medir la fluorescencia con un fluorímetro Turner Designs (10-05R) a 590 nm de longitud de onda y obtener los valores de concentración en unidades mg/m<sup>3</sup>. Estos datos de clorofila-a fueron proporcionados por el Dr. Gilberto Gaxiola, mientras que los datos de surgencias fueron obtenidos de la página del Pacific Fisheries Environmental Laboratory (NOAA) de una estación con coordenadas 33°N 119° W.

La identificación taxonómica de eufáusidos y sus fases de vida (caliptopis, furciliias, juveniles, adultos) se realizó con ayuda de un microscopio estereoscópico, para ello se utilizó la clave taxonómica interactiva de Brinton *et al.* (2000). El conteo de los organismos se llevó a cabo en fracciones, las cuales se realizaron con un separador Folsom en ½, ¼, ⅛, 1/16 o 1/32, dependiendo de la cantidad de material en la muestra. Las larvas de eufáusidos se contaron exclusivamente en la primera fracción de la muestra, mientras que, la fracción usada para los juveniles y adultos se determinó tomando como mínimo los 10 individuos. Para las especies poco abundantes, se analizó la totalidad de la muestra. La gran mayoría de las larvas se identificaron a nivel de especie. Por la gran similitud de un grupo de especies filogenéticamente muy cercanas del género *Euphausia*, las larvas de las especies *E. mutica*, *E. recurva* y *E. eximia*, se agruparon como “*Euphausia* Grupo 1A”, siguiendo a Brinton (1962).

## 2.5 Análisis de datos

Para caracterizar las condiciones ambientales se estimaron anomalías de las surgencias, temperatura, salinidad y clorofila-a superficiales durante el periodo 1998–2011. Las anomalías se calcularon mediante la resta de las medias estacionales de largo plazo (invierno, primavera, verano, otoño) a la media de cada crucero. La abundancia de los eufáusidos para cada especie y fase de vida se obtuvo por medio de una estandarización del número de individuos contados en la muestra entre el volumen de agua filtrada por la red.

$$E = \frac{n}{V} * 1000 \quad (1)$$

Donde:

$$E = \text{Número de individuos} \left( \frac{\text{Ind.}}{1000\text{m}^3} \right)$$

$n = \text{Número de individuos por muestra}$

$V = \text{Volumen de agua filtrada por la red (m}^3\text{)}$

## 2.6 Comparaciones temporales y espaciales

Se realizaron análisis estadísticos univariados para determinar si existían diferencias significativas temporales entre las estaciones del año (invierno, primavera, verano y otoño), así como diferencias espaciales entre las zonas meridionales (costa-océano) y latitudinales (línea 100–línea 103) en las abundancias de las especies más frecuentes y abundantes. Estas comparaciones también se realizaron para cada fase de vida (caliopsis, furcilia, juvenil y adulto) por separado.

Para ello, primero se determinó si los datos cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, mediante el índice de Shapiro–Wilks y la prueba de Bartlett, respectivamente ( $p > 0.5$ ). Al no haber normalidad y, dado que la mayoría de los datos tampoco cumplieron con homocedasticidad, se optó por aplicar métodos estadísticos no paramétricos. Para los datos temporales, se utilizó la prueba de Kruskal–Wallis, mientras que para los datos espaciales se aplicó la prueba de Mann–Whitney (Zar, 2010). Cuando se encontraron diferencias significativas, se realizaron comparaciones a cada par de meses con la prueba de Mann–Whitney. Los análisis univariados mencionados se realizaron con el software estadísticos Rstudio (2021.09.0 Build 35).

## 2.7 Análisis de similitud

Se realizó un análisis multivariado de similitud de la comunidad de eufáusidos entre todos los puntos de muestreo y los meses del año 2011 con base en el índice de similitud de Bray-Curtis:

$$S_{jk} = 100 \left\{ \frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \right\} \quad (2)$$

Donde:

$jk = \text{estaciones oceanográficas } j \text{ y } k$

$i = i - \text{ésima especie}$

$p = \text{número total de especies}$

$y_{ij} = \text{abundancia de la especie } i \text{ en la estación } j$

$y_{jk} = \text{abundancia de la especie } i \text{ en la estación } k$

La escala está dada en porcentaje (0-100), en donde 100 significa que se tiene la máxima similitud y conforme se acerca a 0, la similitud decrece (Clarke y Warwick, 1994). Previo a este análisis, se aplicó una transformación logarítmica ( $\text{Log}X+1$ ) a los datos con el propósito de estandarizar. La matriz de datos tuvo dimensiones de 37 x 22, que corresponden al número de muestras y de especies. Con la matriz de similitud, se realizó un análisis de clúster y un análisis de escalamiento multidimensional (MDS) mediante el algoritmo UPGMA (*Group Average*) con el objetivo de encontrar similitudes que permiten establecer grupos. Para una mejor separación de los agrupamientos en el dendrograma, se realizó una prueba SIMPROF (*Similarity profile test*; Clarke *et al.*, 2008). También se aplicaron pruebas SIMPER (*Similarity Percentage*) para determinar la contribución de las especies a la similitud de grupos y entre grupos (Clarke, 1993). Finalmente, se realizó un MDS con el objetivo de modelizar los datos reportados en una representación visual. El análisis de similitud también se realizó combinando datos de las cuatro estaciones del año 2005 y 2011, con el fin de identificar diferencias entre años. La matriz de datos de ambos años tuvo dimensiones de 68 muestras x 25 especies.

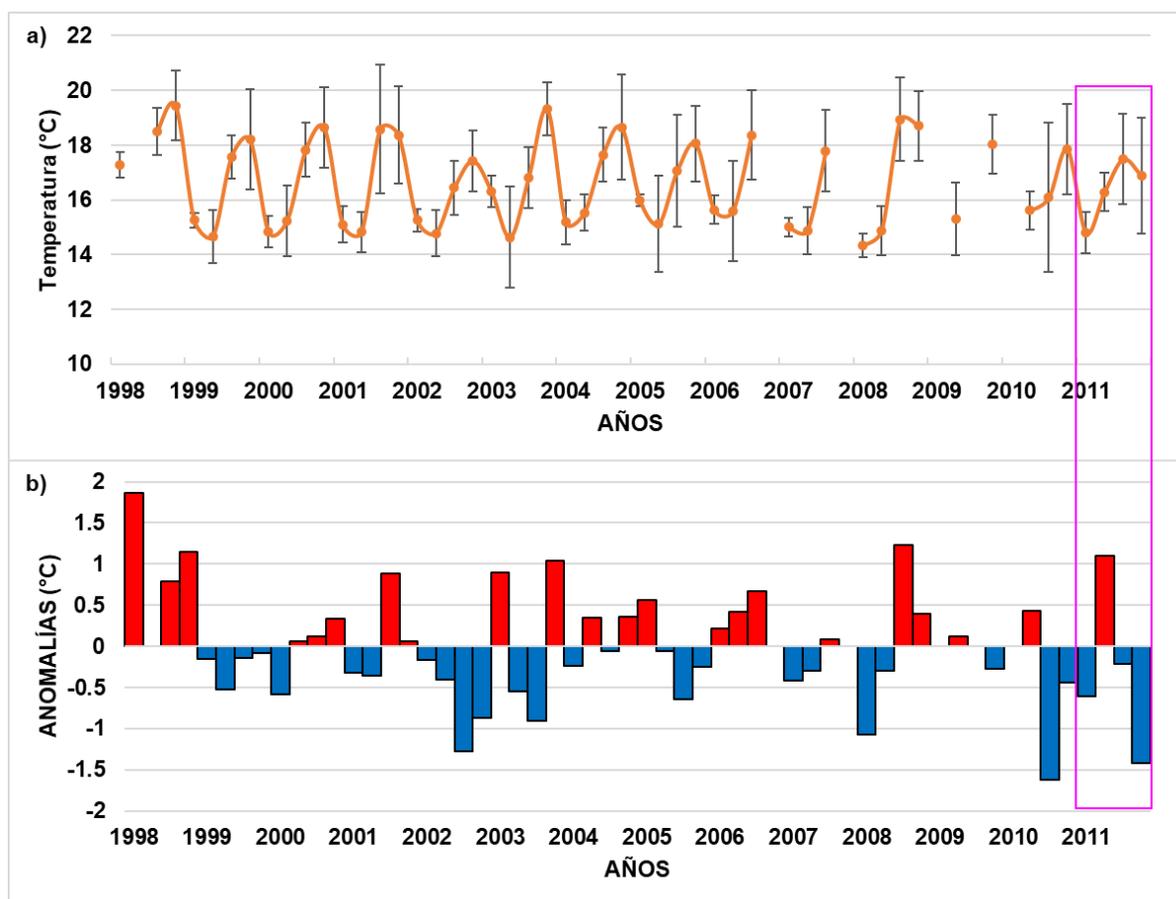
## 2.8 Correlación entre la comunidad y las variables ambientales

Con el fin de determinar el tipo de análisis apropiado para el acoplamiento físico-biológico, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre las variables independientes (temperatura y salinidad superficial, temperatura y salinidad a 200 m y clorofila-a integrada) y dependientes (abundancia de las especies). Se tomó como referencia los valores entre 0.4 y 0.7 como correlaciones moderadas y  $>0.7$  como altamente correlacionadas. En función de los valores de correlación se eligió el análisis para correlacionar la matriz de datos biológicos con las variables ambientales. Si la mayoría de los valores de correlación eran  $<0.7$  se realizaba un Análisis de Correlación Canónica (ACC), por el contrario, si la mayoría de los valores eran  $>0.7$  correspondía un Análisis de Componentes Principales (ACP). En este caso, debido a que solo pocas de los datos tuvieron valores  $>0.7$  se realizó un ACC. Para la interpretación, se tomaron en cuenta correlaciones mayores a 0.5 en la matriz de carga (McGarigal *et al.*, 2000).

## Capítulo 3. Resultados

### 3.1 Condiciones ambientales

#### 3.1.1 Temperatura superficial



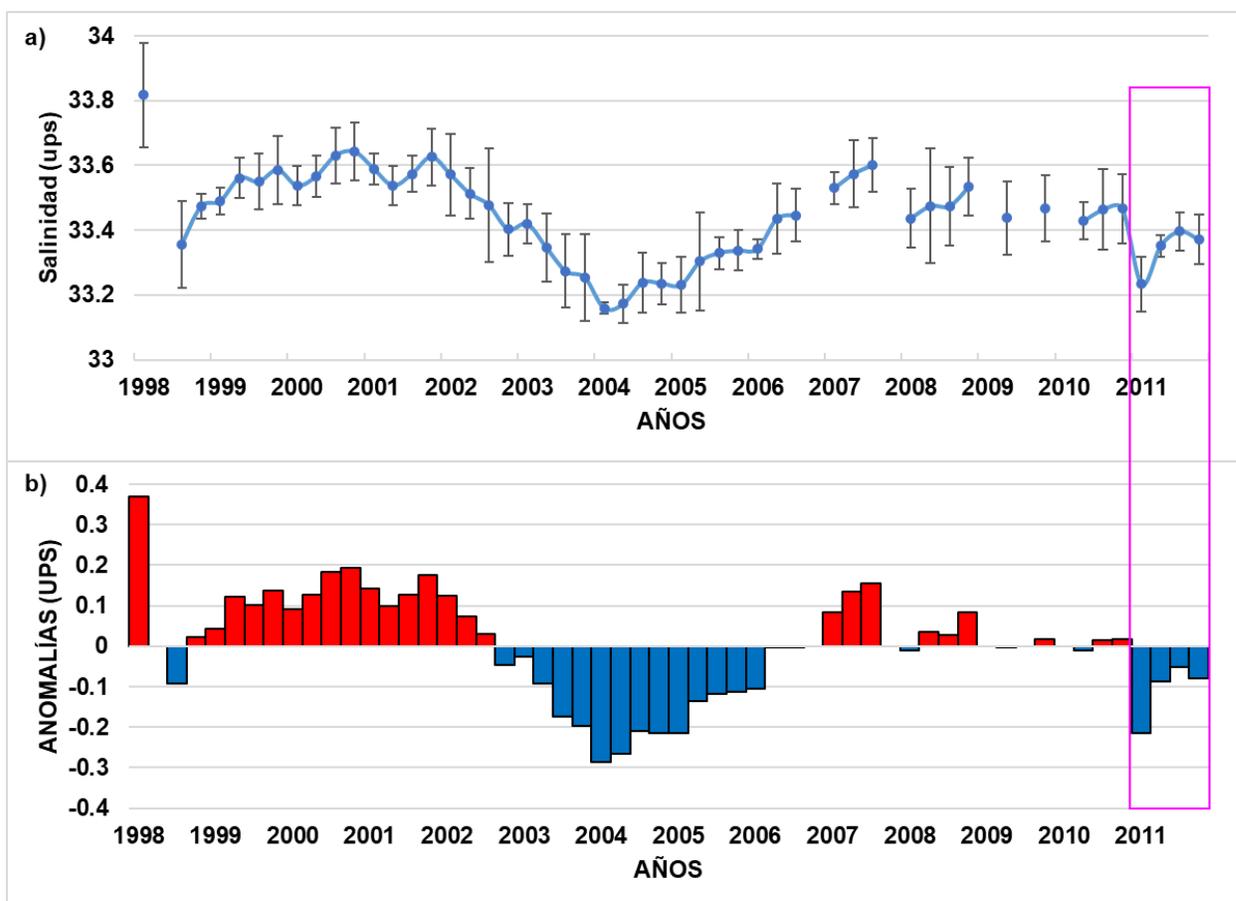
**Figura 4.** Temperatura superficial promedio  $\pm$  desviación estándar (a) y anomalías de temperatura superficial (b) durante el periodo 1998-2011, basadas en datos de las líneas 100 y 103 del programa IMECOCAL. El recuadro rosa indica el año analizado en la presente tesis.

La temperatura superficial de invierno mostró un promedio ( $\pm$  desviación estándar) de  $15.42 \pm 0.79$  °C considerando todas las temporadas invernales del periodo 1998-2011. El invierno del 2011 fue más frío que el promedio ( $14.81 \pm 0.75$  °C), por lo que se registró una anomalía de  $-0.61$  °C (Figura 4). Durante primavera el promedio de largo plazo fue similar al de invierno ( $15.18 \pm 0.48$  °C). Sin embargo, en la

primavera de 2011 la temperatura fue mayor ( $16.28 \pm 0.70 \text{ }^\circ\text{C}$ ) en comparación con el promedio histórico, por lo que se registró una anomalía positiva de  $1.1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Las temporadas más cálidas fueron en verano y otoño ( $17.71 \pm 0.93 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $18.3 \pm 0.73 \text{ }^\circ\text{C}$ ), pero en 2011 registraron anomalías negativas ( $-0.22$  y  $-1.42 \text{ }^\circ\text{C}$ ) pues la temperatura en este año fue menor tanto en verano ( $17.49 \pm 1.66 \text{ }^\circ\text{C}$ ) como en otoño ( $16.89 \pm 2.10 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

### 3.1.2 Salinidad superficial

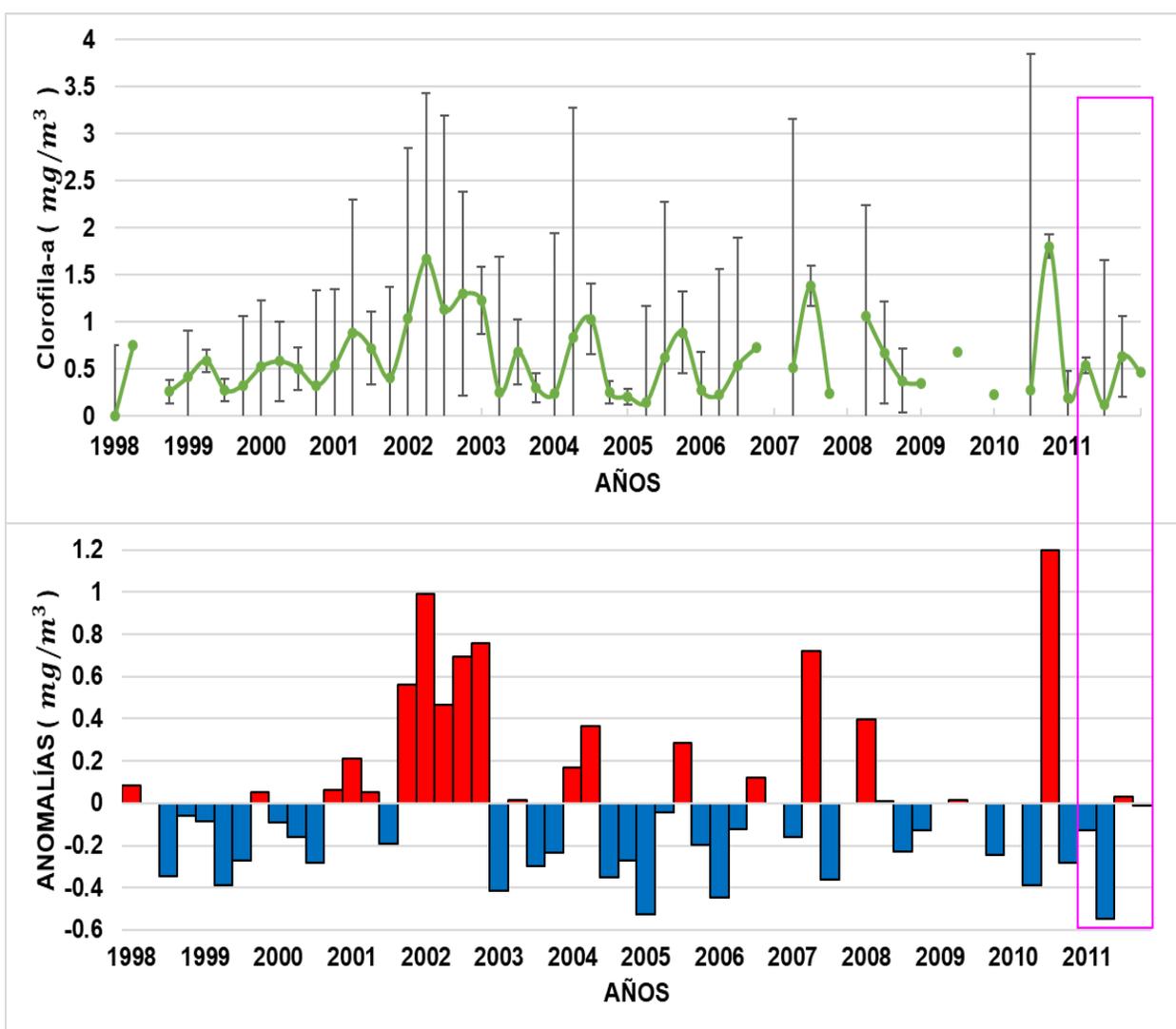
En cuanto a la salinidad superficial, se observó que los promedios a largo plazo en las cuatro estaciones del año se mantuvieron en un valor de  $33.45 \text{ ups}$ , indicando la presencia de agua subártica todo el año. Por su parte, en 2011 se registraron anomalías negativas en todas las temporadas, las cuales estuvieron en un rango entre  $-0.05$  y  $-0.21$ , mostrando una mayor influencia de agua subártica que en el promedio.



**Figura 5.** Salinidad superficial promedio  $\pm$  desviación estándar (a) y anomalías de salinidad superficial (b) durante el periodo 1998-2011, basadas en datos de las líneas 100 y 103 del programa IMECOCAL. El recuadro rosa indica el año analizado en la presente tesis.

### 3.1.3 Clorofila-a superficial

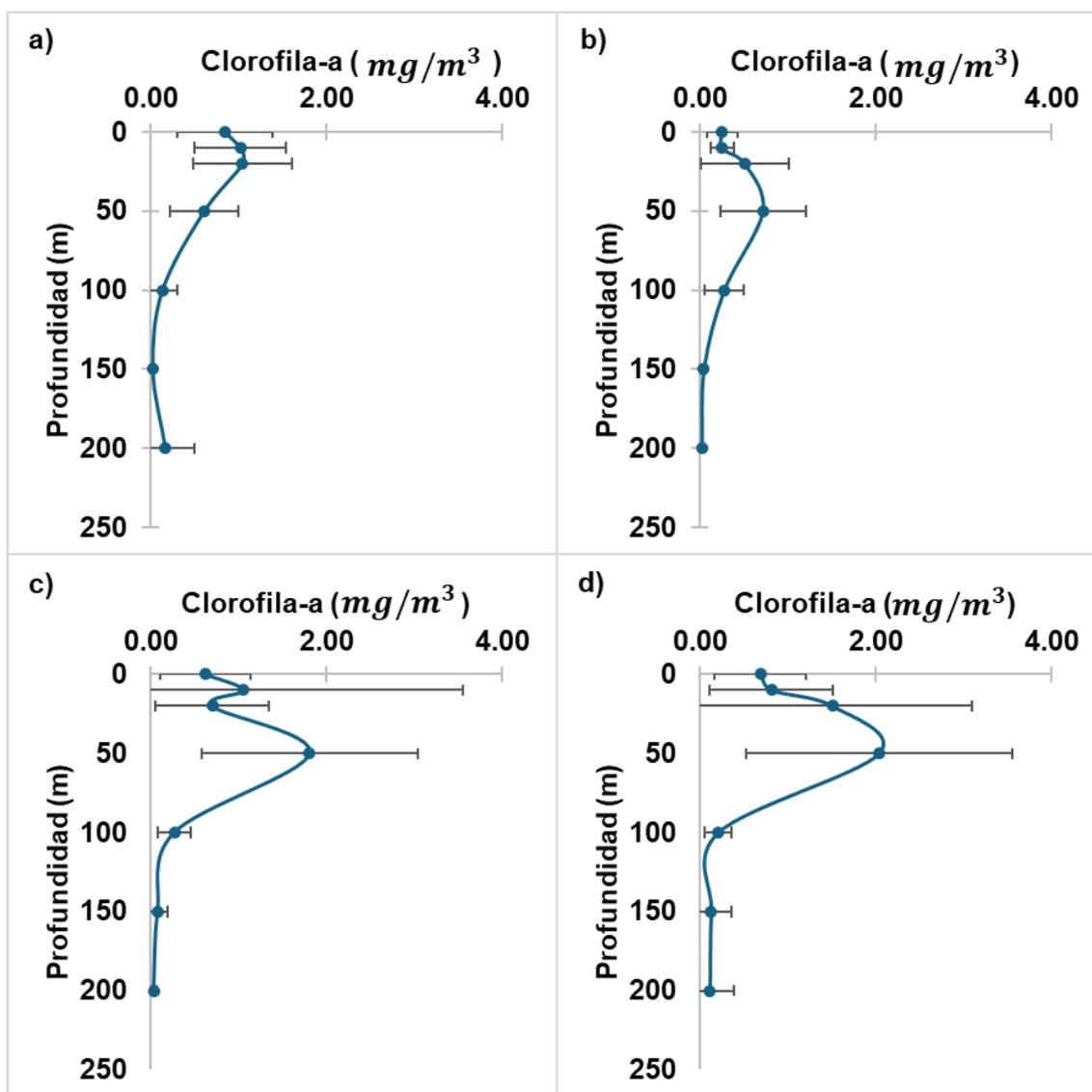
Por lo que se refiere a la concentración de clorofila-a superficial, los valores más altos ocurren en invierno y primavera con promedios de  $0.67 \pm 0.42 \text{ mg/m}^3$  y  $0.66 \pm 0.36 \text{ mg/m}^3$ , respectivamente, para el periodo 1998-2011. Específicamente en el 2011 se registraron anomalías negativas en estos meses ( $-0.13$  y  $-0.55 \text{ mg/m}^3$ , respectivamente), ya que los promedios fueron inferiores a la media de largo plazo (Figura 6). En cambio, los promedios de verano y otoño de 2011 fueron cercanos a las medias de largo plazo ( $0.60 \pm 0.48$  y  $0.48 \pm 0.33 \text{ mg/m}^3$ , respectivamente), por lo que sus anomalías fueron mínimas en el 2011 (entre  $-0.01$  y  $0.03 \text{ mg/m}^3$ , respectivamente).



**Figura 6.** Concentración de clorofila-a promedio  $\pm$  desviación estándar (a) y anomalías de la concentración de clorofila-a (b) durante el periodo 1998-2011, basadas en datos de las líneas 100 y 103 del programa IMECOAL. El recuadro rosa indica el año analizado en la presente tesis.

### 3.1.4 Perfil vertical de clorofila-a

El perfil vertical de clorofila-a mostró que las concentraciones mayores se registraron en estratos poco profundos y disminuyen marcadamente por debajo de los 100 m. En invierno, la clorofila máxima se registró a los 20 m de profundidad (1.04 mg/m<sup>3</sup>), mientras que en las demás temporadas del año se registró a los 50 m de profundidad. Sin embargo, la magnitud de dicho máximo aumentó progresivamente de 0.72 mg/m<sup>3</sup> en primavera, a 1.81mg/m<sup>3</sup> en verano y 2.04mg/m<sup>3</sup> en otoño, por lo tanto, 2011 fue un año atípico con respecto a la primavera, ya que en esa temporada se observaron los valores más bajos.

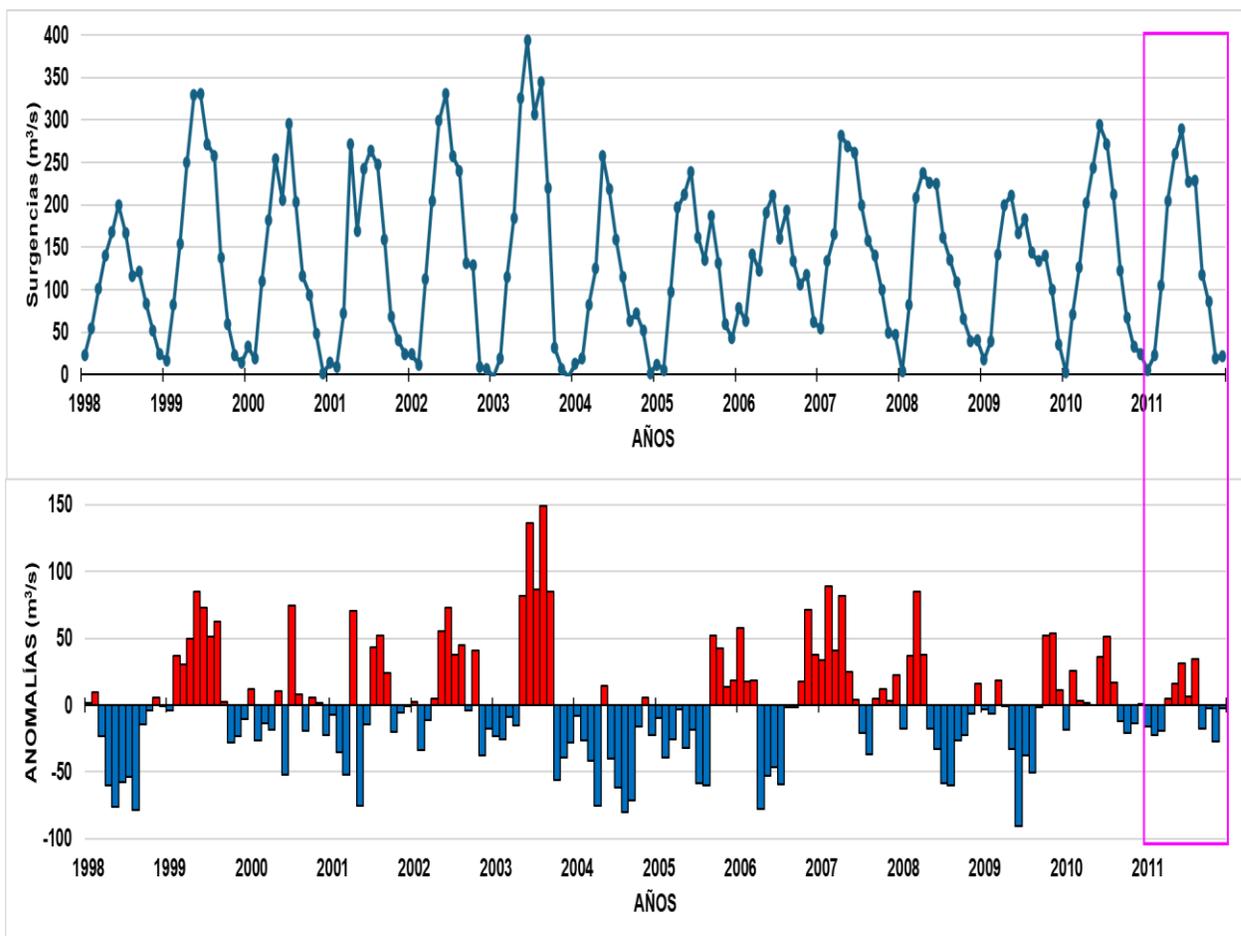


**Figura 7.** Perfil vertical de la concentración de clorofila-a en invierno (a), primavera (b), verano (c) y otoño (d). Se muestra el promedio  $\pm$  desviación estándar.

### 3.1.5 Índice de Surgencias

La variación mensual del índice de surgencias en una estación cercana a la zona de estudio (33°N 119°W) mostró que las mayores intensidades se registraron en primavera y verano (Figura 7). Para el periodo 1998-2011 se repite este patrón estacional año con año, pero en algunos años se observó que las surgencias alcanzaron mayor intensidad que en otros. Específicamente en 2011, los valores fueron mayores de abril a agosto ( $205\text{-}229\text{ m}^3/\text{s}$ ).

Sin embargo, las surgencias costeras de 2011 no fueron particularmente intensas, con leves anomalías positivas de abril a agosto ( $5\text{-}34\text{ m}^3/\text{s}$ ). Mientras que para los demás meses se presentaron anomalías negativas con valores bajos a causa de que las surgencias no rebasaron los  $150\text{ m}^3/\text{s}$ . En general, los valores de las surgencias no tuvieron mucha variación con respecto a los promedios a largo plazo de cada mes.



**Figura 8.** Índice mensual de surgencias (a) y anomalías de surgencias (b) durante el periodo 1998-2011 en la estación 33°N 119°W, basadas en datos obtenidos del *Pacific Fisheries Environmental Laboratory (NOAA)*. El recuadro rosa indica el año analizado en la presente tesis.

## 3.2 Comunidad de eufáusidos

### 3.2.1 Eufáusidos totales

En las 37 muestras analizadas se registraron altas abundancias de eufáusidos. La abundancia media en primavera fue de  $2336 \pm 1570$  ind/1000m<sup>3</sup>, seguida por la de invierno con  $3613 \pm 2923$  ind/1000m<sup>3</sup>, mientras que la abundancia en verano fue de  $4235 \pm 4274$  ind/1000 m<sup>3</sup> y otoño con  $4310 \pm 5067$  ind/1000 m<sup>3</sup>. No obstante, la prueba de Kruskal-Wallis no arrojó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). Es decir, la cantidad de eufáusidos totales fue constante a lo largo del año. Sin considerar la estacionalidad, las comparaciones visuales espaciales mostraron latitudinalmente una aparente mayor abundancia en el transecto de Punta Colonet que en el de Punta Banda ( $4247 \pm 4613$  y  $3008 \pm 2406$  ind/1000m<sup>3</sup>, respectivamente). Por su parte, meridionalmente el promedio de la región costera ( $4653 \pm 4588$  ind/1000m<sup>3</sup>) duplicó al de la oceánica ( $2579 \pm 2129$  ind/1000m<sup>3</sup>). En ambos casos, las medias asociadas tienen grandes desviaciones estándar y la diferencia obtenida con la prueba de Mann-Whitney ( $p > 0.05$ ) no fue estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ), por lo que la abundancia latitudinal y meridional de eufáusidos totales es similar en la zona de estudio.

### 3.2.2 Composición de especies

Se identificaron un total de 22 especies de eufáusidos repartidas en los géneros, *Euphausia*, *Hansarsia*, *Nematobranchion*, *Nyctiphanes*, *Stylocheiron*, *Thysanoessa* y *Thysanopoda* (Tabla 2). Tres de ellas fueron muy comunes, pues se presentaron en la mayor parte de las muestras analizadas con 36 de 37 registros. Otras también fueron frecuentes, pues se encontraron presentes entre 14 y 33 de las muestras. Por el contrario, hubo especies que se registraron de manera ocasional (4-11 muestras), mientras que otras fueron muy raras porque estuvieron ausentes en casi todas las muestras ( $\leq 3$ ).

El promedio global por especies indicó que *Euphausia pacifica*, *Hansarsia difficilis* y *Thysanoessa gregaria* fueron las más frecuentes y abundantes (Tabla 2). Mientras que *Thysanoessa spinifera*, aunque fue menos frecuente, también fue abundante. La diferencia en abundancia entre especies fue muy marcada, con promedios de las especies ocasionales y raras muy por debajo de las comunes. *T. gregaria* ( $295 \pm 252$  ind/1000m<sup>3</sup>) y *T. spinifera* ( $557 \pm 2595$  ind/1000m<sup>3</sup>), obtuvieron valores al doble de las menos comunes,

pero estos mismos valores fueron la mitad de los obtenidos por *H. difficilis* ( $830 \pm 957$  ind/1000m<sup>3</sup>) y *E. pacifica* ( $1727 \pm 2661$  ind/1000m<sup>3</sup>).

Por su parte, la mediana global por especies mostró que en la mayoría de los organismos se registraron valores de 0 ind/1000 m<sup>3</sup>, excepto en ocho especies. Al igual que el promedio global, la mediana resaltó la abundancia de *E. pacifica* (881 ind/1000m<sup>3</sup>), *H. difficilis* (474 ind/1000m<sup>3</sup>) y *T. gregaria* (205 ind/1000m<sup>3</sup>), aunque con menores cantidades. Sin embargo, también mostró que contrario al promedio alto de *T. spinifera* su mediana fue 0 ind/1000 m<sup>3</sup>.

**Tabla 2.** Especies de eufáusidos identificadas en el área de estudio durante el año 2011. Se indica la frecuencia, abundancia media global ( $\pm$  desviación estándar) y mediana (n=37). \*Especies que únicamente incluyen juveniles y adultos debido a que sus larvas se agruparon en el conjunto *Euphausia* (larvas Grupo 1 A).

Especies	Presencia (Núm. De muestras)	Abundancia promedio (ind/1000m <sup>3</sup> )	Mediana (ind/1000m <sup>3</sup> )
<i>Euphausia</i> (larvas Grupo 1A)	15	(18.7 $\pm$ 35)	0.0
<i>Euphausia eximia</i> *	5	(0.3 $\pm$ 0.7)	0.0
<i>Euphausia gibboides</i>	25	(51.4 $\pm$ 139.7)	9.0
<i>Euphausia hemigibba</i>	3	(0.2 $\pm$ 0.8)	0.0
<i>Euphausia mutica</i> *	2	(0.1 $\pm$ 0.6)	0.0
<i>Euphausia pacifica</i>	36	(1727.3 $\pm$ 2661.3)	881.1
<i>Euphausia recurva</i> *	22	(16.9 $\pm$ 28.3)	6.2
<i>Hansarsia atlantica</i>	3	(2.9 $\pm$ 13.1)	0.0
<i>Hansarsia difficilis</i>	36	(829.9 $\pm$ 956.5)	474.1
<i>Hansarsia gracilis</i>	1	(0 $\pm$ 0.2)	0.0
<i>Hansarsia tenella</i>	6	(2.1 $\pm$ 10.2)	0.0
<i>Nematobrachion flexipes</i>	11	(3.5 $\pm$ 7.5)	0.0
<i>Nyctiphanes simplex</i>	4	(2.6 $\pm$ 11.6)	0.0
<i>Stylocheiron abbreviatum</i>	7	(1 $\pm$ 2.2)	0.0
<i>Stylocheiron affine</i>	30	(33.8 $\pm$ 46.8)	14.3
<i>Stylocheiron longicorne</i>	33	(81.2 $\pm$ 87.5)	52.0
<i>Stylocheiron maximum</i>	27	(18.2 $\pm$ 25.6)	9.7
<i>Stylocheiron suhmi</i>	3	(0.9 $\pm$ 4.2)	0.0
<i>Thysanoessa gregaria</i>	36	(295.3 $\pm$ 251.6)	204.9
<i>Thysanoessa spinifera</i>	14	(556.5 $\pm$ 2594.9)	0.0
<i>Thysanopoda astylata</i>	3	(0.5 $\pm$ 1.8)	0.0
<i>Thysanopoda egregia</i>	1	(0.1 $\pm$ 0.3)	0.0
<i>Thysanopoda orientalis</i>	2	(0.7 $\pm$ 4)	0.0

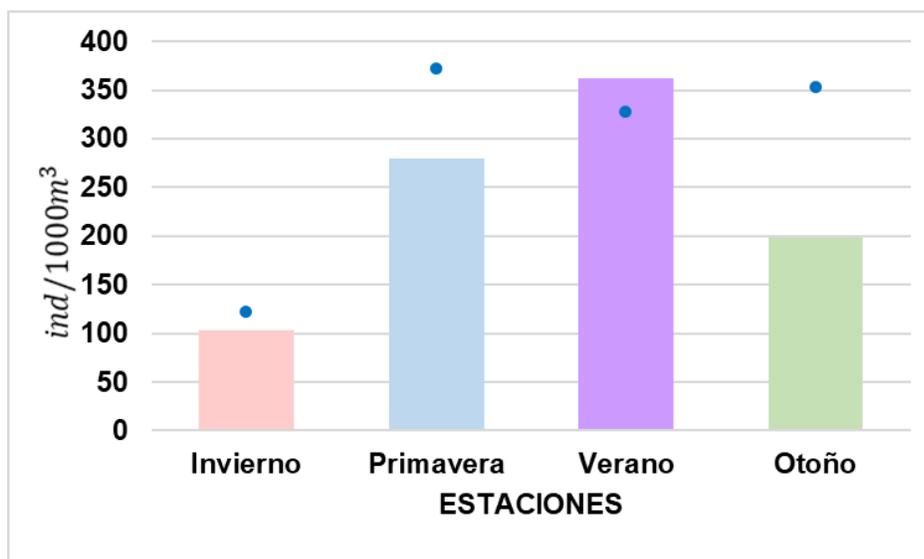
Debido a la baja representatividad de algunas especies, se seleccionaron aquellas que estuvieron presentes en al menos 10 estaciones y que tuvieran una abundancia global promedio mayor a 15 ind/1000m<sup>3</sup>. Con base en lo anterior, se seleccionaron nueve especies dentro de las cuales están incluidas las cuatro más abundantes (*E. pacifica*, *H. difficilis*, *T. gregaria* y *T. spinifera*) y otras cinco (*Euphausia gibboides*, *Euphausia recurva*, *Stylocheiron affine*, *Stylocheiron longicorne* y *Stylocheiron máximum*), las cuales se presentaron en 22-33 muestras y con abundancias entre 17 y 51 ind/1000m<sup>3</sup>. Cabe mencionar que, en el caso de *E. recurva*, están únicamente incluidos datos de juveniles y adultos, pues sus larvas están registradas en el conjunto señalado como “*Euphausia* (larvas Grupo 1 A)”, en el cual también incluye larvas de especies muy cercanas como *Euphausia eximia* y *Euphausia mutica*, pues son difíciles de identificar a nivel específico. Por dicha razón, este grupo no se tomó en cuenta como especie y sus valores se utilizaron únicamente para los análisis univariados de las fases de vida (Tabla 2).

**Tabla 3.** Comparaciones estacionales (Kruskal-Wallis) de la abundancia en las especies más comunes de eufáusidos durante 2011. Los valores remarcados en rojo indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

<b>Especies</b>	<b>H</b>	<b>p</b>
<i>E. gibboides</i>	5.076	0.166
<i>E. recurva</i>	1.735	0.629
<i>E. pacifica</i>	5.166	0.160
<i>H. difficilis</i>	2.465	0.482
<i>S. affine</i>	0.782	0.854
<i>S. longicorne</i>	6.151	0.105
<i>S. maximum</i>	4.336	0.227
<i>T. gregaria</i>	10.427	<b>0.015</b>
<i>T. spinifera</i>	1.518	0.678

Ahora bien, tomando en cuenta únicamente las especies seleccionadas, se observó que, aunque estuvieron presentes en todas las temporadas (invierno, primavera, verano y otoño), su abundancia variaba ampliamente entre los puntos de muestreo y dependiendo de cada especie. Por ejemplo, gráficamente se observó que, en primavera, a pesar de ser la estación con una menor mediana de eufáusidos (1761 ind/1000 m<sup>3</sup>), fue la temporada en la que en cuatro de las nueve especies elegidas tuvieron una mayor mediana, como *S. affine* (22 ind/1000m<sup>3</sup>), *S. longicorne* (118 ind/1000m<sup>3</sup>), *S. maximum* (33 ind/1000m<sup>3</sup>) y *T. spinifera* (3 ind/1000m<sup>3</sup>). No obstante, de igual manera, algunas especies tuvieron su baja mediana de abundancia en dicha estación, como *E. recurva* (0 ind/1000m<sup>3</sup>) y *H. difficilis* (431 ind/1000m<sup>3</sup>). Estas dos últimas, junto con *E. pacifica* tuvieron altas medianas en invierno (11, 1150 y 1548

ind/1000m<sup>3</sup>, respectivamente). *E. gibboides* tuvo medianas altas tanto en primavera como en verano (21 y 23 ind/1000m<sup>3</sup>) mientras que la mediana de *T. gregaria* fue mayor en verano (363 ind/1000m<sup>3</sup>). Sin embargo, a pesar de la diferenciación visual, las pruebas estadísticas no mostraron diferencias significativas de cada especie entre estaciones, salvo para *T. gregaria* ( $p < 0.05$ ; Tabla 3), la cual mostró abundancias más bajas en invierno con respecto a las demás temporadas (Figura 9).

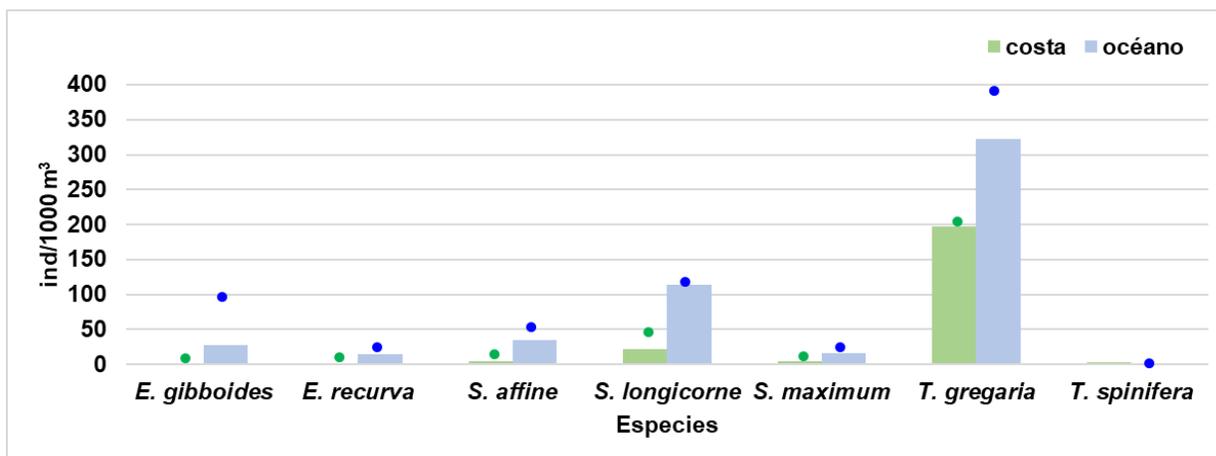


**Figura 9.** Mediana estacional de *Thysanoessa gregaria* durante 2011. Los puntos azules muestran el promedio.

Por otro lado, en las comparaciones espaciales ninguna especie mostró diferencias significativas al comparar latitudinalmente (Tabla 4). No obstante, con respecto a la abundancia de la mediana por zonas meridionales, se observó que la mayoría de las especies registraron mayores abundancias en la parte oceánica, sin embargo, fueron especies con medianas inferiores a los 350 ind/100 m<sup>3</sup>, excepto *H. difficilis* con 564 ind/1000m<sup>3</sup>. Por otro lado, en la zona costera únicamente dos especies fueron muy abundantes, *E. pacifica* y *T. spinifera*. La primera duplicó su valor en la zona costera respecto a la oceánica (1161 y 513 ind/1000m<sup>3</sup>). En el caso de *T. spinifera* la mediana fue de 3 ind/1000m<sup>3</sup>, a pesar de que su valor máximo registrado fue de 15163 ind/1000m<sup>3</sup>. Esto debido a su ausencia en muchas de las estaciones muestreadas (Figura 10). En esta comparación zonal se observó que *E. gibboides*, *E. recurva*, *S. affine*, *S. longicorne*, *S. maximum*, *T. gregaria* y *T. spinifera* tuvieron diferencias significativas entre la costa y el océano, siendo esta última la única más abundante en la costa comparada a la tendencia oceánica de las demás. Por el contrario, las únicas especies que no obtuvieron diferencias significativas fueron *E. pacifica* y *H. difficilis* ( $p > 0.05$ ; Tabla 4)

**Tabla 4.** Comparaciones espaciales (Mann-Whitney) de la abundancia en las especies comunes de eufáusidos entre los transectos 100 y 103 (latitudinal) y entre estaciones costeras y oceánicas (zonal) durante 2011. Los valores remarcados en rojo indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Tipo	Especies	Z	p
Latitudinal	<i>E. gibboides</i>	-0.634	0.535
	<i>E. pacifica</i>	0.820	0.421
	<i>E. recurva</i>	-1.069	0.292
	<i>H. difficilis</i>	-0.304	0.776
	<i>S. affine</i>	0.290	0.780
	<i>S. longicorne</i>	1.354	0.181
	<i>S. maximum</i>	1.228	0.225
	<i>T. gregaria</i>	1.003	0.328
	<i>T. spinifera</i>	-0.244	0.822
Zonal	<i>E. gibboides</i>	-3.263	<b>0.001</b>
	<i>E. pacifica</i>	1.869	0.062
	<i>E. recurva</i>	-3.287	<b>0.001</b>
	<i>H. difficilis</i>	0.091	0.940
	<i>S. affine</i>	-3.416	<b>0.000</b>
	<i>S. longicorne</i>	-2.966	<b>0.002</b>
	<i>S. maximum</i>	-2.272	<b>0.022</b>
	<i>T. gregaria</i>	-1.975	<b>0.049</b>
	<i>T. spinifera</i>	3.208	<b>0.001</b>

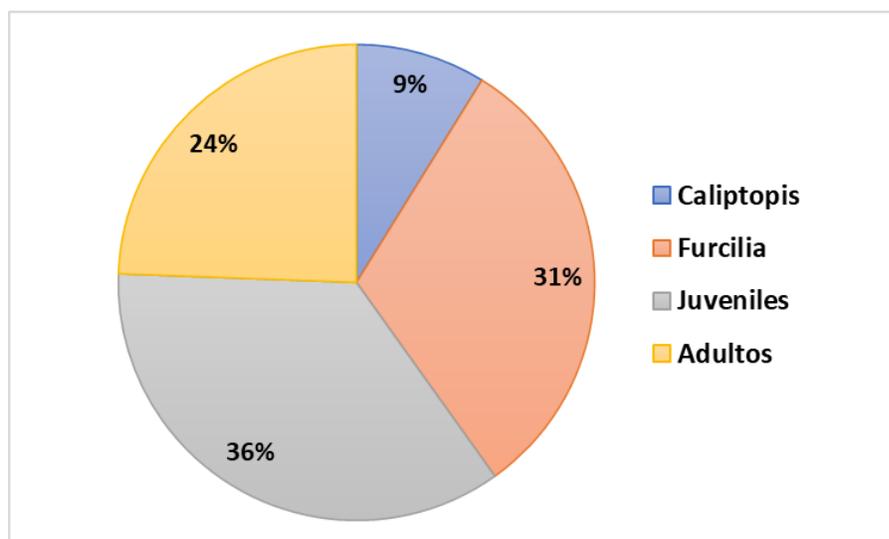


**Figura 10.** Mediana zonal de las especies comunes y abundantes de eufáusidos durante 2011 que tuvieron diferencias estadísticamente significativas. Los puntos representan el promedio.

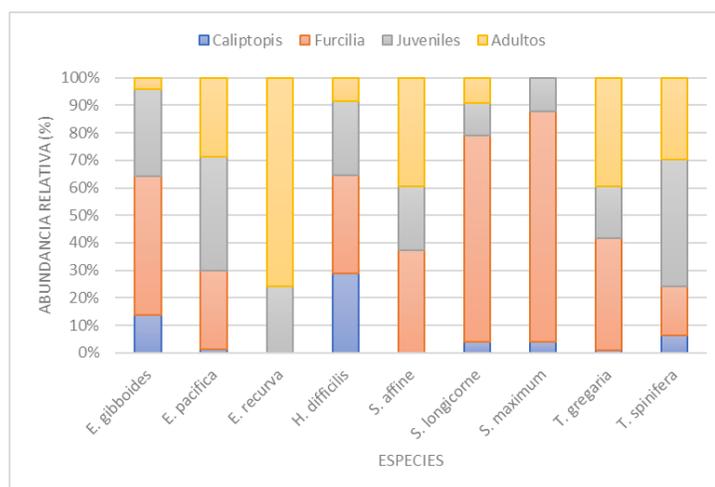
### 3.2.3 Fases de vida

En cuanto a las etapas de vida de los eufáusidos (larvas caliptopis, larvas furcilia, juveniles y adultos), sin

distinguir especies ni meses del año, se observó que, las larvas caliptopis tuvieron la menor abundancia relativa con un promedio de 9%, mientras que las furcilia y los juveniles fueron las etapas con mayores proporciones (31 y 36%, respectivamente) y juntas representan al 67% de los eufáusidos. Por su parte, los adultos constituyeron el 24% (Figura 11).



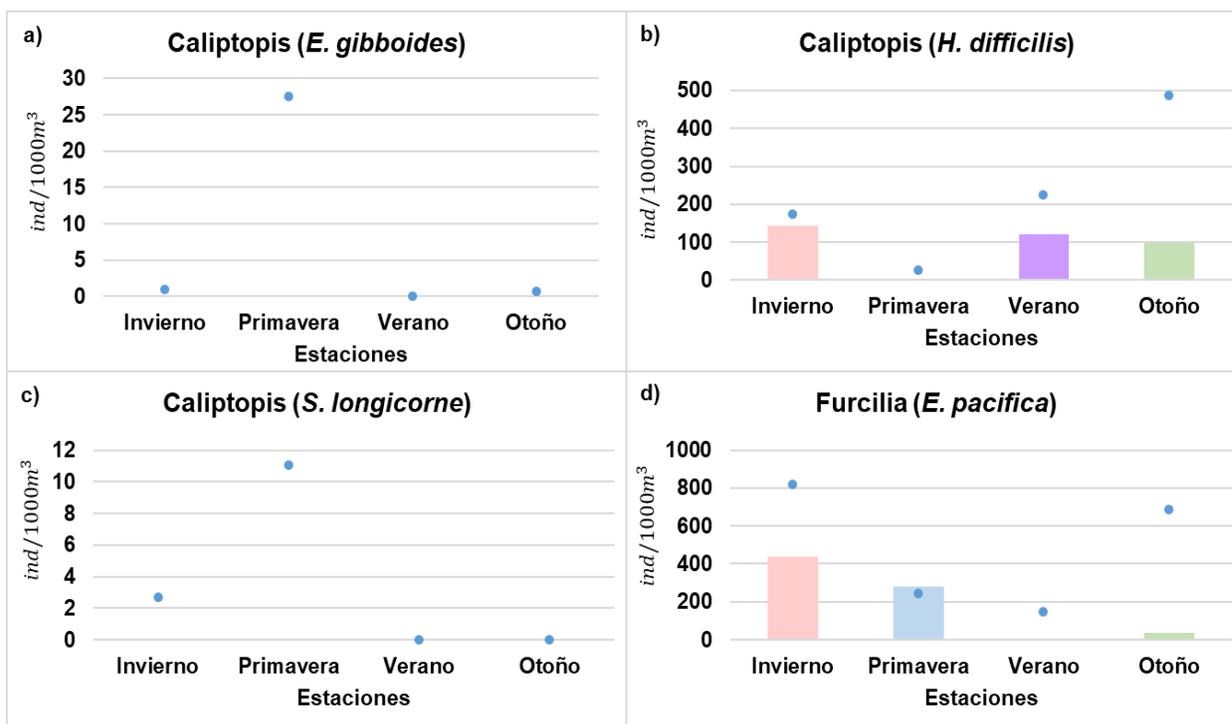
**Figura 11.** Abundancia relativa de las etapas de vida (caliptopis, furcilia, juveniles y adultos) de eufáusidos durante 2011.



**Figura 12.** Abundancia relativa promedio de las etapas de vida (larvas caliptopis, larvas furcilia, juveniles y adultos) de las especies de eufáusidos más abundantes durante 2011. Nótese que las larvas de *E. recurva* forman parte del subconjunto de “*Euphausia* (larvas Grupo 1A)” que no se muestran en la gráfica.

Sin embargo, cada especie aportó de manera diferente a la abundancia relativa de sus etapas de vida. En la mayoría predominaron las larvas, mientras que otras pocas tuvieron más juveniles o adultos. Por

ejemplo, cuatro de las nueve especies seleccionadas se colectaron mayormente en fase larvaria (*E. gibboides*, *H. difficilis*, *S. longicorne* y *S. maximum*), siendo *H. difficilis* la única que aportó una mayor cantidad de larvas caliptopis, cuyo porcentaje fue similar al de larvas furcilia. En tanto, *E. gibboides*, *S. longicorne*, *S. maximum* tuvieron mayores porcentajes de larvas furcilia. En cuanto a *S. affine* y *T. gregaria*, se colectaron más larvas furcilia y adultos. Por otra parte, en las especies de *E. pacifica* y *T. spinifera* se registraron más juveniles, mientras que *E. recurva* registró más adultos. Las larvas de esta última especie no estuvieron registradas en la figura porque no fue posible identificarlas, pero es probable que las larvas de “*Euphausia* (larvas Grupo 1 A)” pertenezcan a esta especie (Figura 12).



**Figura 13.** Mediana estacional de las etapas de vida de especies con diferencias estadísticamente significativas: Caliptopis de *E. gibboides* (a), *H. difficilis* (b) *S. longicorne* (c) y furcilia de *E. pacifica* (d). Los puntos azules muestran el promedio estacional.

Al examinar las variaciones estacionales en las abundancias por fases de vida, se observó que las larvas caliptopis de *E. gibboides*, *S. longicorne* y *H. difficilis* tuvieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ; Anexo A). *E. gibboides* y *S. longicorne* registraron su mayor abundancia en primavera, aunque su mediana fue de 0 ind/1000m<sup>3</sup> por la ausencia en muchas estaciones, sus medias fueron 27.41 y 11.03 ind/1000m<sup>3</sup>, respectivamente (Figura 13). Al comparar mes a mes, se observó que la diferencia significativa fue entre primavera y otoño para las caliptopis de *E. gibboides* ( $p < 0.05$ ), mientras que para los caliptopis de *S.*

*longicorne* la diferencia se presentó entre la primavera con respecto al otoño. En cuanto a los calioptopis de *H. difficilis*, se observaron abundancias significativamente menores en primavera que en los meses restantes ( $p < 0.05$ ). La mediana fue cero en primavera, mientras que en invierno, verano y otoño estuvo entre 98 y 144 ind/1000m<sup>3</sup>. Cabe señalar que las calioptopis de *T. spinifera* se registraron en gran número (1326 ind/1000 m<sup>3</sup>), pero únicamente en la estación 103.30 durante el verano.

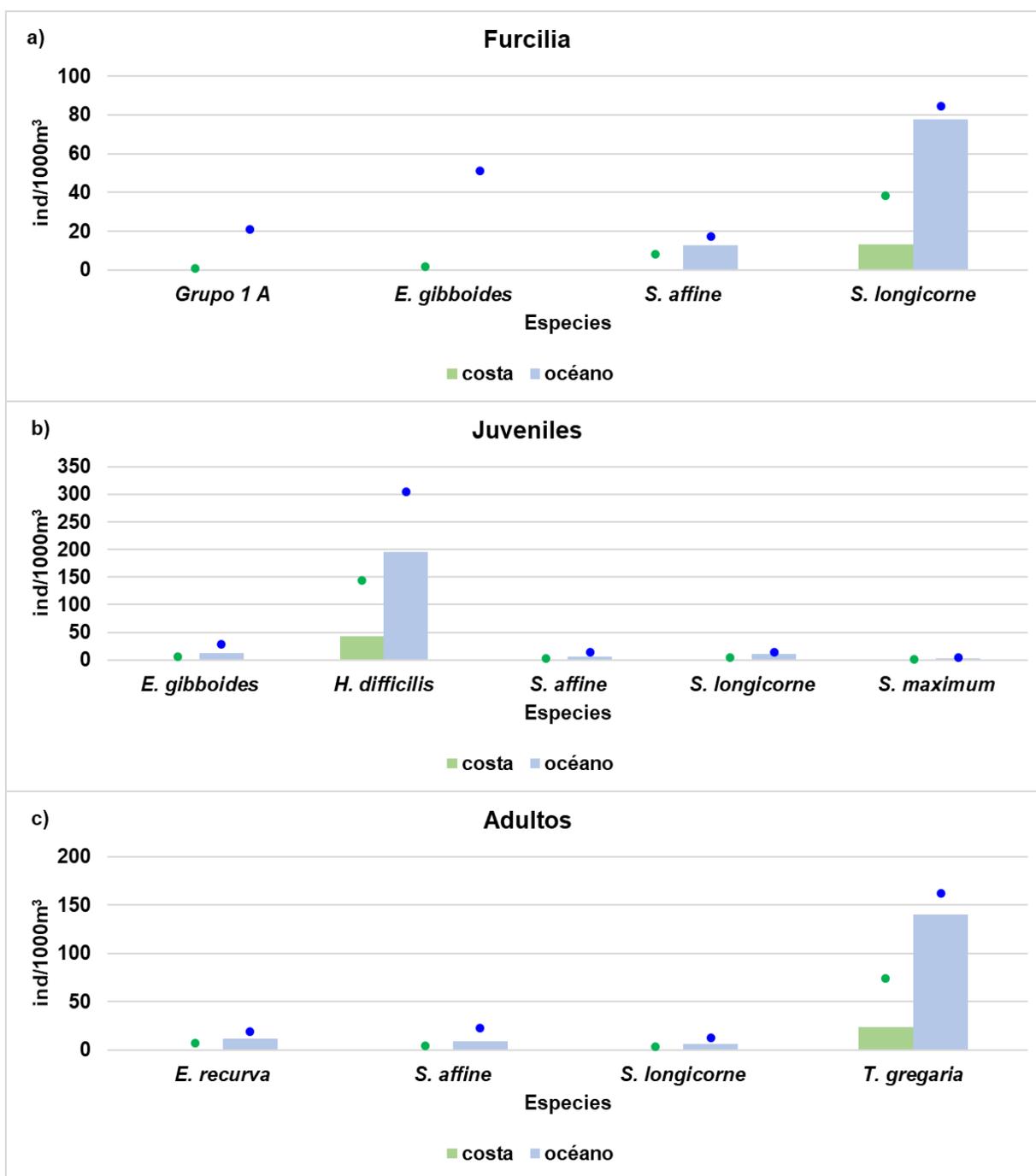
En el caso de las larvas furcilia, se observaron diferencias significativas únicamente en *E. pacifica*, que presentó sus mayores abundancias en invierno y primavera, con medianas de 440 y 280 ind/1000 m<sup>3</sup>. La comparación por meses indicó que la diferencia significativa fue en invierno con respecto al verano y otoño, y entre la primavera y verano.

Espacialmente, en lo que respecta a las comparaciones latitudinales, únicamente los adultos de *E. pacifica* tuvieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ; Anexo B), con mediana de 95 ind/1000 m<sup>3</sup> para el transecto 100 y 21 ind/1000 m<sup>3</sup> para el transecto 103. Por otro lado, en la comparación entre la zona costera y la oceánica se encontraron diferencias significativas para algunas de las fases de varias especies ( $p < 0.05$ , Anexo C). Considerando a la fase calioptopis, únicamente se detectaron diferencias significativas en las larvas del Grupo 1 A.

Aunque la mediana en ambas zonas fue de 0 ind/1000m<sup>3</sup>, los promedios mostraron que hubo una mayor abundancia en la zona oceánica (10.8 ind/1000 m<sup>3</sup>) con respecto a la zona costera (3.1 ind/1000m<sup>3</sup>). Similarmente, las calioptopis de *E. gibboides* y *S. longicorne* estuvieron presentes exclusivamente en la región oceánica con promedios superiores a 6.5 ind/1000m<sup>3</sup>, pero totalmente ausentes en la región costera. Por su parte, *T. spinifera* únicamente registró calioptopis en una estación costera, aunque en gran abundancia (1326 ind/1000 m<sup>3</sup>).

En la fase furcilia se registraron abundancias significativamente mayores en la región oceánica con respecto a la región costera en el Grupo 1 A, *E. gibboides*, *S. affine* y *S. longicorne* (Figura 14). En las dos primeras, ambas medianas fueron igual a cero debido a su baja presencia, mientras que en *S. affine* y *S. longicorne*, la mediana de la región fue 13 y 78 ind/1000m<sup>3</sup>, (contra 0 y 13 ind/1000m<sup>3</sup>, respetivamente).

Asimismo, los juveniles de *E. gibboides*, *H. difficilis*, *S. affine*, *S. longicorne* y *S. maximum* y los adultos de *E. recurva*, *S. affine*, *S. longicorne* y *T. gregaria* tuvieron mayor abundancia en la región oceánica. Por otra parte, los adultos de *T. spinifera* se registraron únicamente en la costa, con abundancia promedio de 322 ind/1000m<sup>3</sup>.

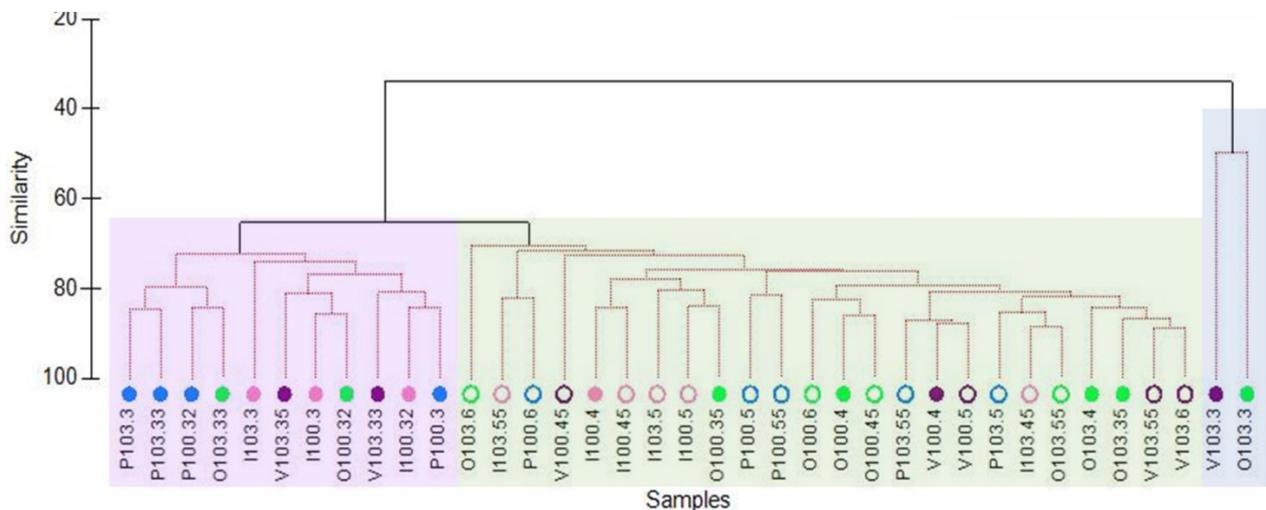


**Figura 14.** Mediana zonal de las etapas de vida de especies que tuvieron diferencias estadísticamente significativas. Furcilia (a), Juveniles (b) y Adultos (c). Los puntos representan el promedio.

### 3.3 Análisis de la comunidad de eufáusidos

El análisis de agrupación de las estaciones de los cuatro cruceros involucrados, aunado a la prueba SIMPROF, mostró la formación de tres grupos diferentes (Figura 15). El primer grupo (recuadro morado)

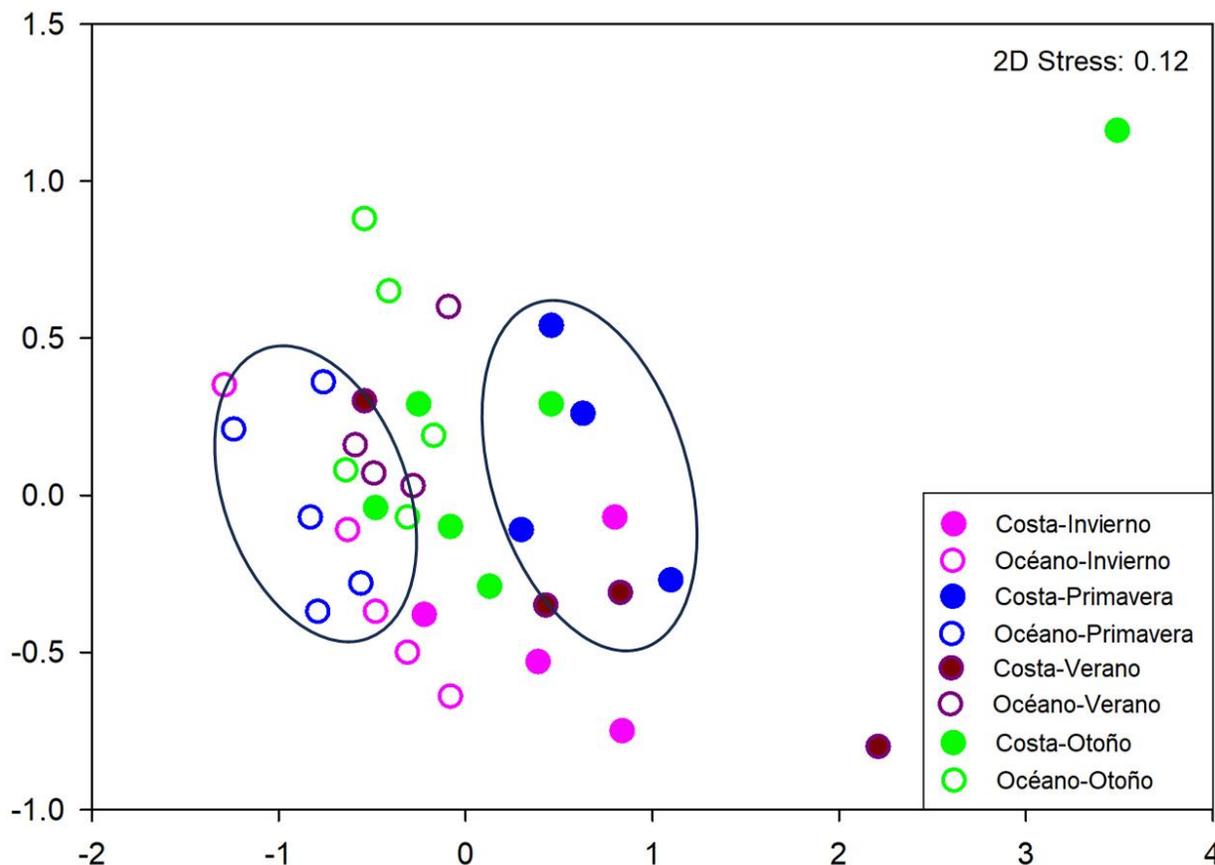
constó de 11 estaciones costeras. Los resultados de la prueba SIMPER indicaron que *E. pacifica* contribuyó con el 70.5% de la similitud al grupo, seguida de *H. difficilis* con un 18.1%. El segundo grupo (representado en verde) incluyó tanto estaciones costeras como oceánicas, con una mayor predominancia de éstas últimas. Se observó que las especies de *E. pacifica* y *H. difficilis* fueron las principales contribuyentes a la similitud dentro de este grupo, representando conjuntamente el 72.5% de la similitud, seguidas de *T. gregaria* con 12%. El tercer y último grupo (destacado en azul) estuvo conformado por dos muestras costeras frente a Punta Colonet (103.30), una en verano y otra en otoño. En esta agrupación, los organismos de *T. spinifera* fueron la principal contribución, representando un 80% de la similitud. El dendrograma mostró un coeficiente aglomerativo de 0.8, lo que sugiere una estructura de agrupamiento sólida.



**Figura 15.** Dendrograma de las estaciones muestreadas durante 2011. En el eje x se indica la temporada y número de estación oceanográfica. Las distintas agrupaciones están indicadas con recuadros. En el eje x se indica el número de estación precedida por una letra que pertenece a la temporada: I= Invierno, P= primavera, V= verano, O= otoño. Los círculos sólidos corresponden a estaciones costeras y círculos huecos a muestras oceánicas. Los colores de los símbolos corresponden a la estacionalidad: Rosa (invierno), azul: (primavera), morado (verano) y verde (otoño).

Asimismo, el análisis de agrupamiento mediante el escalamiento multidimensional (MDS), modelizó los datos con el objetivo de una representación visual (Figura 16). En el gráfico, la única diferenciación visual en los datos fue entre las estaciones costeras y oceánicas de primavera. Aunque los puntos de muestreo no tuvieron una agrupación debido al ensamble de cinco puntos de muestreo, las estaciones costeras estuvieron más dispersas, pero con una ligera agrupación hacia la derecha (valores positivos) del eje x, mientras los datos oceánicos se agruparon hacia la izquierda (valores negativos). También, se identificó que los dos puntos más alejados pertenecieron al otoño y verano de la estación 103.30. El valor de stress

inicial fue el 0.12, mientras que el final fue de 0.11, lo que significa que no hubo gran cambio en el ajuste de los datos.



**Figura 16.** Escalamiento multidimensional (MDS) de las estaciones muestreadas durante 2011. Los símbolos indican la temporada del año y la zona.

### 3.4 Acoplamiento físico-biológico

Debido a que la correlación de Pearson (Anexo D) mostró que entre 14 variables dependientes y 2 independientes hubo una correlación moderada ( $r > 0.4$ ), pero de ellas, solo en 5 dependientes fue alta ( $r > 0.7$ ) se realizó un ACC sin quitar ninguna variable. Se observó que, de cinco coeficientes de correlación canónica, los dos primeros se correlacionaron con más del 90% y con una varianza traslapada de más del 80% (Anexo E). Sin embargo, ninguno de los coeficientes fue significativo ( $p < 0.05$ ), por ello se repitió el proceso tomando en cuenta únicamente las nueve especies más relevantes y las cinco variables oceanográficas.

**Tabla 5.** Análisis de Correlación Canónica para las 9 variables dependientes y 5 independientes. **A)** Resumen estadístico de las correlaciones. **B)** Matriz completa de las correlaciones para cada variante. En rojo se muestran aquellos valores con correlaciones  $>0.5$ . Abreviaturas: temperatura superficial (temp), salinidad superficial (sal), clorofila-a integrada (clor), temperatura a 200 m (temp200), salinidad a 200 m (sal200), *E. gibboides* (E.g), *E. pacifica* (E. p), *E. recurva* (E.r), *H. difficilis* (H.d), *S. affine* (S. aff), *S. longicorne* (S.l), *S. máximo* (S.m), *T. gregaria* (T.g), *T. spinifera* (T.s).

**A)**

	CanR	CanRSQ	Eigen	percent	Pr(> F)
<b>1</b>	0.8707	0.7581	3.1335	55.9309	<b>0.0003</b>
<b>2</b>	0.7958	0.6333	1.7273	30.8310	<b>0.0548</b>
<b>3</b>	0.6006	0.3608	0.5644	10.0734	0.6818
<b>4</b>	0.3342	0.1117	0.1257	2.2438	0.9644
<b>5</b>	0.2215	0.0491	0.0516	0.9208	0.9208

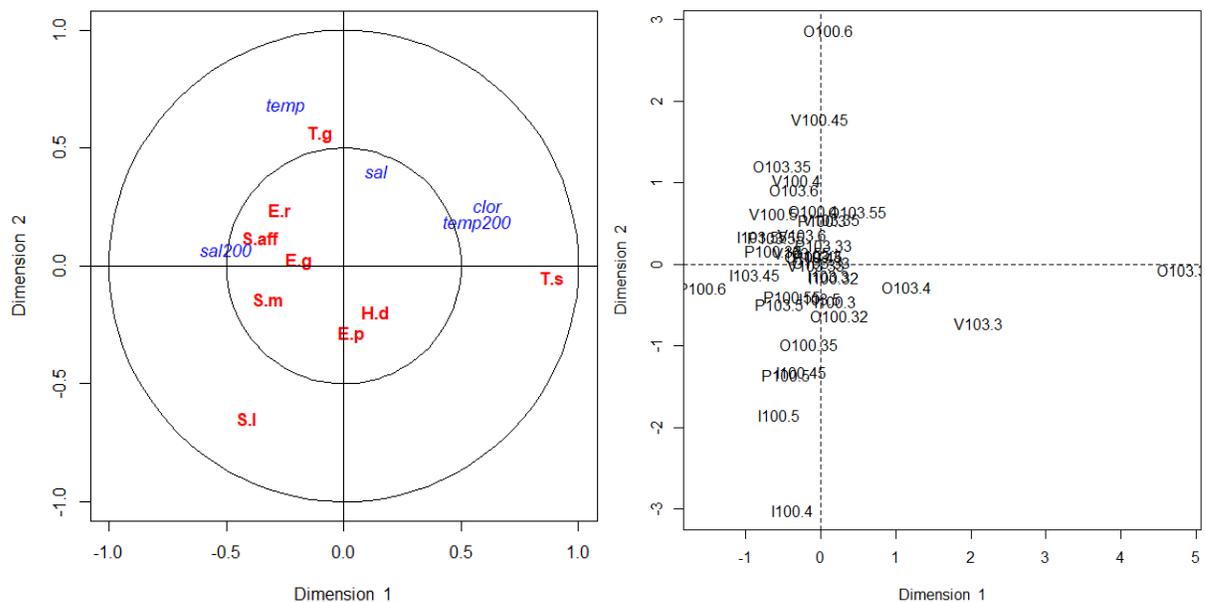
**B)**

Variables	X1	X2	X3	X4	X5
temp	-0.283	<b>0.853</b>	-0.378	0.114	0.193
sal	0.160	<b>0.508</b>	-0.336	0.048	0.775
clor	<b>0.702</b>	0.323	-0.468	-0.214	-0.372
temp200	<b>0.656</b>	0.230	0.693	-0.173	0.082
sal200	<b>-0.579</b>	0.087	-0.336	-0.730	-0.106
E.g	-0.189	0.023	0.054	0.089	-0.016
E.p	0.037	-0.286	-0.424	-0.199	0.613
E.r	-0.271	0.239	-0.202	0.085	0.150
H.d	0.137	-0.193	-0.606	-0.489	0.027
S.aff	-0.357	0.122	0.113	0.063	-0.423
S.l	-0.414	<b>-0.645</b>	-0.283	-0.061	-0.476
S.m	-0.322	-0.141	0.154	-0.772	-0.427
T.g	-0.101	<b>0.563</b>	-0.419	-0.235	-0.583
T.s	<b>0.890</b>	-0.049	0.191	0.032	-0.148

La correlación de Pearson mostró que entre 3 variables dependientes y 2 independientes hubo una correlación moderada ( $r > 0.4$ ). Sin embargo, como ninguna de ellas estuvo altamente correlacionada ( $r > 0.7$ ), se realizó un ACC sin quitar ninguna variable. El primer par de variantes fueron significativos ( $p < 0.05$ ; Tabla 5) y se correlacionaron 0.8706 (87.06%) con una varianza traslapada de 0.7580 (75.80%). En las variables independientes se observó una relación inversa entre la temperatura y la salinidad a 200 m, así como una relación proporcional entre la temperatura a 200 m y la clorofila-a integrada. Por su

parte, la única variable dependiente con un valor mayor a 0.5 fue la especie *T. spinifera*. Por ello, se determinó que la clorofila-a y temperatura a 200 m tuvieron una relación positiva con *T. spinifera*, mientras que la salinidad a 200 m tuvo el efecto contrario.

En el segundo par de variantes tuvo una correlación de 0.7958 (79.58%) con una varianza traslapada de 0.63333 (63.33%). Mostró una relación proporcional entre la temperatura y la salinidad superficial, mientras que dentro de las variables dependientes resaltaron las especies *S. longicorne* y *T. gregaria*. De ahí que la temperatura y salinidad superficial tuvo una relación proporcional con *T. gregaria*, pero inversa con *S. longicorne* (Tabla 5). El resto de las especies presentaron bajas correlaciones, pero, a pesar de eso, se observaron algunas tendencias como la relación proporcional entre la salinidad a 200 m y las especies de *E. gibboides*, *E. recurva*, *S. affine* y *S. maximum*; así como la relación inversamente proporcional entre la temperatura superficial y *E. pacifica* y *H. difficilis* (Figura 17).

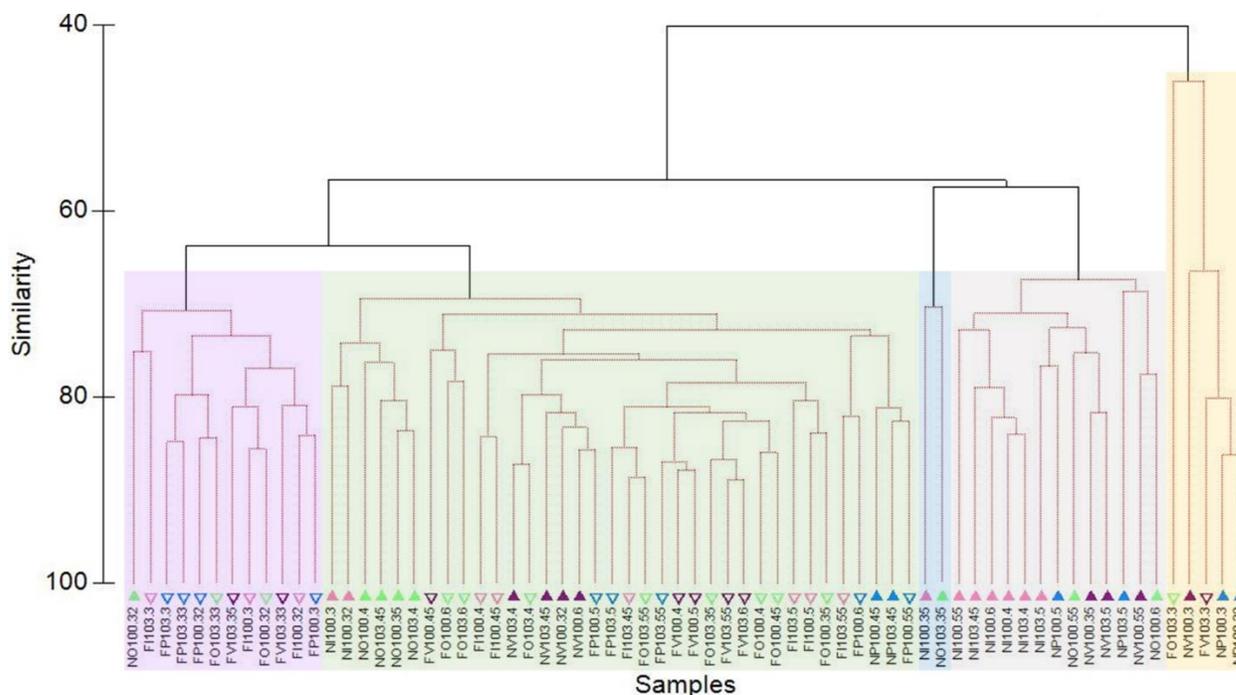


**Figura 17.** Análisis de Correlación Canónica (ACC) entre variables dependientes (nueve especies sobresalientes) e independientes (variables ambientales) de las estaciones muestreadas durante 2011. Abreviaturas: temperatura superficial (temp), salinidad superficial (sal), clorofila integrada (clor), temperatura a 200 m (temp200), salinidad a 200 m (sal200), *E. gibboides* (E.g), *E. pacifica* (E. p), *E. recurva* (E.r), *H. difficilis* (H.d), *S. affine* (S. aff), *S. longicorne* (S.l), *S. maximum* (S.m), *T. gregaria* (T.g), *T. spinifera* (T.s).

### 3.5 Comparación interanual

El análisis de agrupación de las estaciones con datos combinados de 2011 (año frío) y datos de 2005 (año neutro), mostró la formación de cinco grupos diferentes (Figura 18). Estas agrupaciones reflejaron

principalmente el año y la zona. El primer grupo (marcado en morado) estuvo conformado por 12 estaciones costeras (11 del año 2011 y una de 2005). Cuatro especies destacaron como las principales contribuyentes a la similitud de este grupo. *E. pacifica* fue la especie más influyente, pues contribuyó con 70.6% a la similitud, seguida de *H. difficilis* (17.7%), *T. gregaria* (5.8%) y *T. spinifera* (2.7%)



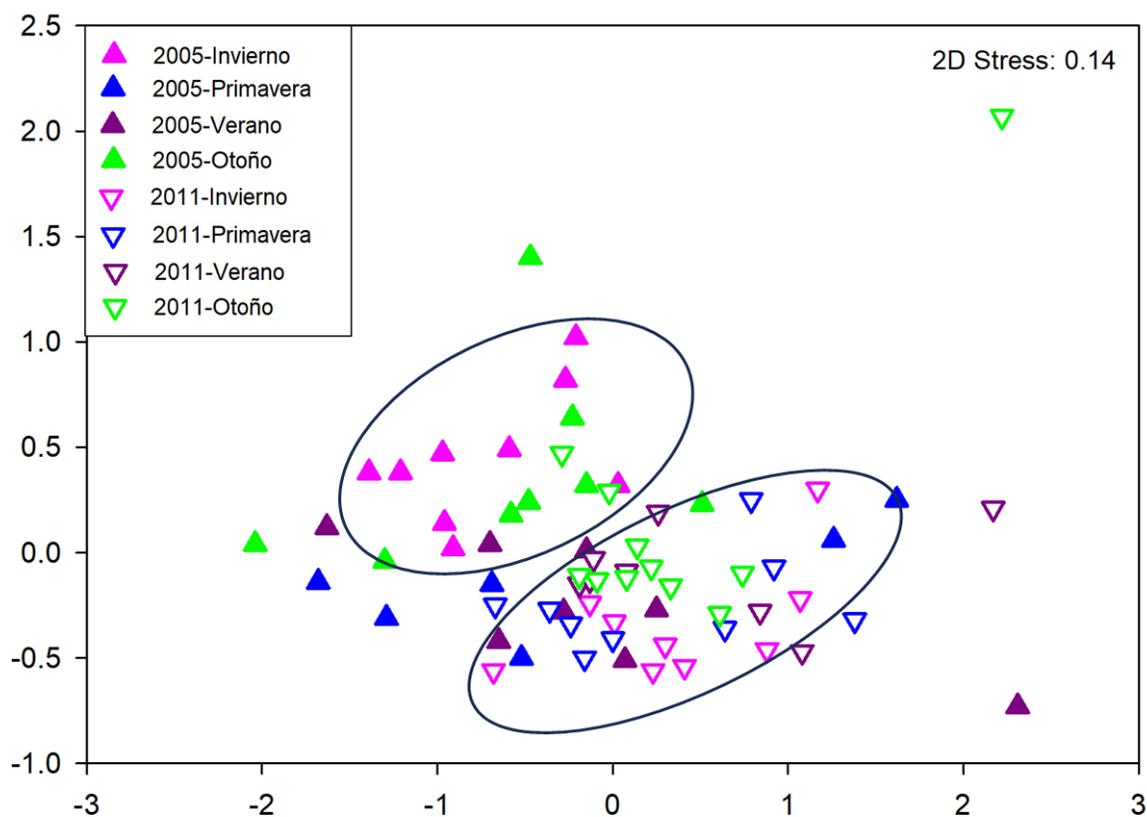
**Figura 18.** Dendrograma de las estaciones muestreadas durante un año neutro (2005) y un año frío (2011). En el eje x se indica el año, la temporada y número de estación oceanográfica. Las distintas agrupaciones están indicadas con recuadros. En el eje x se indica el número de estación precedida por una letra que pertenece al año y otra que corresponde a la temporada: N= 2005, F= 2011, I= Invierno, P= primavera, V= verano, O= otoño. Los triángulos sólidos corresponden a 2005 y los triángulos invertidos huecos a 2011. Los colores de los símbolos corresponden a la estacionalidad: Rosa (invierno), azul: (primavera), morado (verano) y verde (otoño).

El segundo conjunto (representado en verde) incluyó muestras de ambos años, 24 de 2011 (con predominancia oceánica) y 12 muestras de 2005 (tanto costeras como oceánicas). Dentro de este grupo, cinco especies tuvieron un 90% de aporte a la similitud del grupo. *E. pacifica* tuvo la mayor contribución a la similitud del grupo con 38.7%, pero este porcentaje fue menor al observado en el cluster anterior. En cambio, en el conjunto verde tuvieron mayor contribución a la similitud *H. difficilis* (26.4%), *T. gregaria* (16.9%), *E. gibboides* (5.6%) y *S. longicorne* (3.1%).

La tercera agrupación (marcada en azul claro) incluyó únicamente dos estaciones costeras, una de invierno y otra de otoño del 2005. En este grupo *E. hemigibba* (35.5%), *H. difficilis* (26.1%), *N. simplex* (12%) y *T. gregaria* (23.9%) fueron las especies que tuvieron un mayor aporte a la similitud del conjunto.

El cuarto grupo (en gris) estuvo compuesto únicamente por muestras del 2005, principalmente oceánicas, y con una predominancia de las de invierno. Las especies que tuvieron una mayor aportación a la similitud de este grupo fue *T. gregaria* (32.9%), seguido de *E. gibboides* (17.1%), *E. pacifica* (11.5%), *E. recurva* (11.2%), *H. difficilis* (10.4%) y *S. affine* (7%).

Por su parte, el quinto conjunto (resaltado en amarillo) agrupó únicamente muestras costeras, tres del 2005 y dos del 2011, con una mayor aportación de *E. pacifica* (49.3%), *T. spinifera* (35.4%) y *H. difficilis* (12.4%). El dendrograma mostró un coeficiente aglomerativo de 0.91 lo que sugiere una fuerte estructura de agrupamiento.



**Figura 19.** Escalamiento multidimensional (MDS) de las estaciones muestreadas durante 2005 y 2011. Los símbolos indican el año y las diferentes temporadas.

El MDS no mostró la diferenciación visual entre los datos anuales pues, al igual que el MDS anterior, hay puntos de muestreo de ambos años que se mezclan. La mayoría de los puntos correspondientes al 2005 estuvieron dispersos, pero con una ligera agrupación hacia valores negativos del eje x, mientras los datos del 2011 tuvieron una ligera agrupación hacia valores negativos del eje y. Con esta figura también se pudo notar una diferenciación anual entre inviernos. El valor de stress inicial fue el 0.1421, mientras que el final fue de 0.1405, lo que significa que no hubo cambio en el ajuste de los datos (Figura 19).

## Capítulo 4. Discusión

---

Como se ha mencionado con anterioridad, en la presente investigación se analizó la variación estacional de los eufáusidos durante 2011 frente a Punta Banda y Punta Colonet. Dichas zonas forman parte de Sistema de Corriente de California, el cual es influenciado por cambios a diferentes escalas, desde los fenómenos oceanográficos hasta el ENOS.

Las variables ambientales en la región de estudio (temperatura, salinidad y clorofila-a superficial) tuvieron valores menores a los promedios globales obtenidos, por lo que, en la mayoría de las estaciones, se registraron anomalías negativas. Durante este año, se observaron temperaturas y salinidades bajas a comparación de otros años, las cuales fueron causadas por la fase fría de El Niño Oscilación del Sur (ENOS). La excepción fue en primavera, ya que, en 2011, la anomalía de temperatura tuvo valor positivo con respecto a las de invierno y otoño. Estos resultados coinciden con el reporte realizado por Bjorkstedt *et al.* (2012), en el que observaron que, en el SCC (incluyendo Baja California), a pesar de tener temperaturas frías, durante primavera y verano de 2011 disminuyó el enfriamiento con un resurgimiento de condiciones frías en otoño e invierno hacia una transición a condiciones neutrales durante la primavera del 2012. Además, se mantuvieron salinidades bajas en Baja California con respecto a la media climatológica, pero con la mayor anomalía en primavera del 2011. Durazo *et al.* (2010) describieron la climatología oceanográfica de la región frente a Baja California mediante diagramas T-S con datos obtenidos por los programas de CalCOFI e IMECOCAL. En ellos, presentan los rangos de variabilidad aproximada de cada masa de agua en diferentes zonas. La variabilidad estacional descrita por estos autores muestra que, durante primavera, la CC transporta un máximo de agua subártica (ASA) (Durazo *et al.*, 2010). En verano, las aguas superficiales conservan la salinidad media observada en primavera (<34 ups), mientras en otoño e invierno, la salinidad de la capa superficial se modifica para alcanzar valores mayores a 34 ups causados por la intrusión de agua subtropical superficial (AStS). A pesar de esto, la influencia de AStS está limitada por la latitud, pues su influencia en la región norte es imperceptible, lo que confiere a la región norte su carácter subártico durante todo el año. Esto explica en parte la baja variabilidad estacional en la comunidad de eufáusidos encontrada en la presente investigación.

Por su parte, las anomalías de la clorofila-a en la región de estudio fueron ligeramente negativas, a diferencia de lo reportado por Bjorkstedt *et al.* (2012) para el SCC, en donde registraron concentraciones relativamente altas a principios del 2011, con un descenso a finales de 2011, y principios del 2012. Sin embargo, las diferencias regionales fueron evidentes y tienen relación con la intensidad de las surgencias

costeras. Frente a Baja California, entre las latitudes 30–32° N que corresponde a nuestro muestreo, la intensidad de las surgencias fue moderada durante la primavera a comparación de otras zonas y otros meses. Se ha documentado que en esta zona se da una fuerte variabilidad estacional e interanual en la biomasa del fitoplancton forzada por varios procesos locales de mesoescala como las surgencias, remolinos, frentes y meandros (Barocio-León *et al.*, 2007; Gaxiola-Castro *et al.*, 2010). Durazo *et al.* (2010) mencionan que, las surgencias costeras juegan un papel importante en la dinámica costera, sin embargo, demostraron que en la región norte las surgencias persisten todo el año, mientras que en la región sur fueron evidentes únicamente en primavera y verano. Por esta razón, es que probablemente no hubo grandes anomalías de clorofila-a durante 2011, excepto en primavera.

A pesar de observar diferencias visuales con mayores abundancias en otoño y menores en primavera, en este estudio no se registraron diferencias significativas estacionales en la abundancia de eufáusidos, contrariamente a lo esperado en una de las hipótesis propuestas en la que se esperaba encontrar una mayor abundancia de eufáusidos en primavera, con respecto a las demás estaciones. Caso contrario a lo reportado por Lavaniegos *et al.* (2010), quienes registraron poblaciones muy numerosas de grupos pastoreadores (copépodos y eufáusidos) en abril (primavera) y julio (verano) frente a Baja California, en la región norte con base a promedios estacionales del periodo 1998-2007. En un año típico, el estrés del viento contribuye a intensificar el flujo hacia el ecuador y a intensificar el afloramiento costero durante primavera y principios de verano. Esto fertiliza las aguas superficiales y estimula la proliferación del plancton, incluyendo especies asociadas a aguas frías junto con especies subtropicales (Lynn *et al.*, 2003). A finales del verano, pero principalmente en otoño e invierno, las especies oceánicas asociadas al giro subtropical avanzan hacia el noreste, y en Baja California se observa que las especies del Pacífico oriental tropical avanzan hacia el norte (Brinton, 1962). En contraste, durante 2011 las especies templadas como *E. pacifica*, *H. difficilis*, *T. gregaria* y *T. spinifera* dominaron la comunidad durante todo el año debido a las bajas temperaturas a causa de la influencia de La Niña. Estos resultados concuerdan con lo observado durante otro evento similar La Niña en 1998-1999 (Ambriz-Arreola, 2007; Lavaniegos y Ambriz-Arreola, 2012).

Dichos resultados concuerdan con el estudio realizado por Brinton y Townsend (2003) durante el periodo 1951-1981 frente a Baja California norte y el periodo 1951-2003 frente al sur de California. Las mayores abundancias de especies con afinidades frías se registraron en eventos La Niña en detrimento de las demás especies subtropicales y tropicales. Éste último resalta la capacidad de recuperación de los eufáusidos, como el caso de *E. pacifica*.

Otra posible razón por la cual no se observaron diferencias significativas estacionales ni espaciales, pudo ser porque todos los puntos de muestreo formaban parte de la región norte de Baja California (Lavaniegos, 2009; Durazo *et al.*, 2010; Lavaniegos y Ambriz-Arreola, 2012; Parés-Escobar *et al.* 2018). Durazo *et al.* (2010) identificaron dos provincias en Baja California: una al norte y otra al sur de Punta Eugenia, en donde se consideró que el mecanismo físico para su distinción fue la circulación profunda (200/500 dbar). La provincia norte se caracteriza como de dominio subártico debido a la dominancia de ASA durante todo el año, mientras que la provincia sur muestra alternancia entre el dominio subártico durante invierno y primavera, y AStS durante verano y otoño. En este sentido, Lavaniegos (2009) y Lavaniegos y Ambriz-Arreola (2012) realizaron estudios con zooplancton y eufáusidos, respectivamente, a lo largo de Baja California y, de igual manera, ellos dividieron su zona de estudio en norte y sur, pero con la diferencia de que tomaron a Punta Baja como punto de referencia para la división debido a que el límite de la recirculación de la bahía del sur de California influye hasta dicho lugar. Además, la diferencia en la comunidad de eufáusidos que habitan en el norte y sur de la región oceánica, obtenida por Lavaniegos y Ambriz-Arreola (2012), también justifica la separación de las dos regiones.

El presente estudio identificó un total de 22 especies perteneciente a siete géneros. *Thysanopoda*, *Euphausia*, *Thysanoessa*, *Hansarsia* y *Stylocheiron* fueron los géneros de mayor importancia, mientras que *Nyctiphanes* y *Nematobrachion* fueron menos influyentes (Brinton, 1962). La distribución horizontal influye en la frecuencia y abundancia de cada especie, pues de las especies registradas, *S. affine*, *E. eximia*, *H. gracilis* son especies que habitan en aguas ecuatoriales; *E. recurva*, *H. atlantica*, *S. suhmi*, *T. astylata*, *E. hemigibba* y *E. mutica*, se encuentran principalmente en la zona central, mientras que *S. longicorne*, *N. flexipes*, *S. abbreviatum*, *H. tenella* y *T. egregia* se pueden encontrar tanto en aguas ecuatoriales, como centrales. Por su parte, *H. difficilis*, *T. gregaria*, *E. gibboides* y *N. simplex* son especies que habitan la zona de transición, junto con *E. pacifica* y *T. spinifera*, pero con la diferencia de que estas últimas también habitan aguas subárticas. Finalmente, *T. orientalis* se distribuye en la zona ecuatorial, central y en la de transición, mientras que *S. maximum* es la única especie que puede hallarse en todas las zonas anteriormente mencionadas. (Brinton, 1962; Russell y Young, 1969).

Ahora bien, la región en donde se ubican los puntos de muestreo se considera una zona de transición de acuerdo con lo indicado por Roden, 1971 y Durazo *et al.* 2010. La combinación de esta caracterización con las bajas temperaturas debidas al fenómeno de La Niña (Bjorkstedt *et al.*, 2011; 2012), pudo provocar una mayor frecuencia y abundancia de especies típicas de la zona de transición fría, así como de aguas subárticas, como lo son *E. pacifica*, *H. difficilis*, *T. gregaria* y *T. spinifera*. Las primeras tres especies

mencionadas, son típicas de la parte más fría del Sur de la Corriente de California (Brinton, 1962; Fleminger, 1967; Brinton y Townsend, 2003).

Los reportes más actuales, con respecto a variaciones temporales de la comunidad de eufáusidos, fueron los de Parés-Escobar *et al.* (2018) y Lavaniegos *et al.* (2019). Mientras Parés-Escobar *et al.* (2018) realizaron un análisis de variación interanual únicamente de veranos (1998-2008) a lo largo de toda la zona de Baja California; Lavaniegos *et al.* (2019) analizaron la biomasa de eufáusidos durante años cálidos (2014-2016) en la zona de transición de la Corriente de California. A pesar de que uno se realizó antes del año analizado y el otro posterior a él, coinciden en que las especies registradas en este estudio estuvieron presentes en ambos reportes, excepto por *T. egregia* que no se presentó del 2014 al 2016.

Dado que no se encontraron diferencias significativas en la comunidad de eufáusidos en términos estacionales y espaciales, se realizaron análisis por especie. Con esto, se observó que, estacionalmente, únicamente *T. gregaria* tuvo diferencias significativas en invierno en comparación con las otras estaciones. Además, a pesar de las anomalías negativas en 2011, la temperatura del agua fue menor en invierno, lo que pudo haber influido en la abundancia de esta especie. Aunque *T. gregaria* es típica de la zona de transición, también es una de las especies de *Thysanoessa* con mayor tolerancia a aguas más cálidas (Brinton, 1962). Sus adultos viven por debajo de la termoclina, además de no realizar migraciones verticales (Brinton, 1967), lo que ocasiona que pueda sobrevivir mejor a eventos de calentamiento en las capas superficiales del mar ya que la evitan (Lavaniegos y Ambriz-Arreola, 2012).

Por otro lado, *E. gibboides*, *E. recurva*, *S. affine*, *S. longicorne*, *S. maximum*, *T. gregaria* y *T. spinifera* mostraron diferencias significativas entre la costa y el océano. Las primeras seis especies presentaron una mayor abundancia en la zona oceánica, mientras que *T. spinifera* registró sus mayores abundancias en la costa. Estudios previos de distribución han clasificado a *T. spinifera* como una especie nerítica, ya que se ha encontrado más asociada a aguas costeras con profundidades de alrededor de 100 metros. En contraste, las otras especies habitan en aguas más oceánicas, generalmente a profundidades que oscilan hasta 700 metros. Durante la noche, estas especies realizan migraciones verticales para aprovechar los recursos de la zona epipelágica y se encuentran con mayor frecuencia entre los 280 m de profundidad (Brinton, 1962; Russell y Young, 1969).

En el 2012, Lavaniegos y Ambriz-Arreola determinaron una fuerte diferenciación en la composición de especies entre la zona costera y oceánica frente a Baja California. En su estudio interanual de 1997 a 2005, determinaron que la zona costera estuvo dominada por *N. simplex* y con eventual ocurrencia de *T.*

*spinifera* en la zona norte (Punta Colonet 31°N), mientras que el océano hubo una mayor diversidad con una mayor abundancia de *H. difficilis*.

La abundancia relativa por etapa de vida mostró que se colectaron más organismos en etapa juvenil, así como menos en larva caliptopis. La baja abundancia de larvas pudo deberse al tamaño de estos organismos, ya que, la abertura de malla de red bongo con la cual se colectaron los organismos es de 0.5 mm, mientras que el tamaño de las caliptopis va de entre 0.4-1 mm, dependiendo de la especie (Russell y Young, 1969). Por su parte, la abundancia de los juveniles se debe a que, la mayoría son de la especie *E. pacifica*, la más abundante en este estudio, junto con *H. difficilis* y *T. spinifera*, especies típicas de la zona de transición y con las condiciones apropiadas para su desarrollo, a comparación de las demás especies (Brinton y Townsend, 2003).

Así como en los análisis anteriores, en la comparación estacional por fases de cada especie se observó que, las caliptopis de *E. gibboides*, *S. longicorne* y *H. difficilis* fueron las únicas que tuvieron diferencias significativas al igual que las furcilia de *E. pacifica* (Anexo D). Mientras *E. gibboides* y *S. longicorne* presentaron mayores abundancias en primavera, *H. difficilis* la presentó en otoño. A pesar de que las demás especies no presentaron diferencias significativas, sí hubo diferencias visuales en la primavera con respecto a las demás estaciones, pues fue la estación en la que hubo la mayor riqueza de especies y de larvas. En primavera la variabilidad interanual del ciclo estacional de surgencias costeras impacta en gran medida sobre los niveles de diversidad y abundancia de muchas especies del ecosistema pelágico, pues su gran intensidad, a causa de los vientos del noroeste, refleja afloramientos de agua subsuperficial y valores mínimos de temperatura y salinidad (Brinton *et al.*, 2000). La distribución de la concentración de clorofila-a del fitoplancton no solo responde a procesos de surgencias costeras, sino también a la dirección predominante del flujo de la Corriente de California hacia el sur, la cual inclina la nutriclina hacia la superficie en franjas cercanas a la costa (Gaxiola-Castro *et al.*, 2010). Aunado a esto, las anomalías en la temperatura superficial pudieron influir en la presencia de varias especies, pues al ser más cálido con respecto a los demás meses, permitió el desplazamiento de aquellas especies centrales y tropicales, como es el caso de *E. gibboides*.

Como se ha mencionado con anterioridad, varias las especies registradas habitan con mayor frecuencia en zonas con profundidades mayores a 280 m, por ello se registraron con mayor abundancia en los puntos de muestreo marinos. Sin embargo, todos los organismos que tuvieron diferencias significativas zonales en las fases de vida tuvieron sus mayores abundancias en primavera, donde la productividad primaria se incrementa debido a las surgencias. Los cambios generados en esta temporada pudieron propiciar

recursos favorables como una temperatura óptima para la reproducción de la especie, así como disponibilidad de alimento para su desarrollo (Brinton, 1962; Russell y Young, 1969).

En el análisis de agrupación de este estudio mostró que algunas agrupaciones se hicieron principalmente por zonas. La presencia y abundancia de las especies fue fundamental para la agrupación, debido a que, espacialmente, varias especies mostraron diferencias significativas a causa de la principal zona que habitan, ya sea la nerítica o la oceánica. Se formaron únicamente tres grupos, donde las principales similitudes radican en la abundancia de las especies típicas de la zona de transición (*E. pacifica*, *H. difficilis*, *T. gregaria* y *T. spinifera*). Sin embargo, a pesar de no haber una diferenciación estacional, las zona costera y oceánica de primavera sí se diferenciaron en la abundancia de algunas especies. En la costa, *E. pacifica*, *H. difficilis* y *T. gregaria* representan más del 90% de las especies, mientras que en el océano también están dominando con menor abundancia, pero hay un aumento de abundancia de otras especies como *E. gibboides* y *S. longicorne*, principalmente.

Por su parte, el ACC mostró una correlación positiva entre la clorofila integrada y *T. spinifera*, así como la temperatura superficial tuvo una relación directamente proporcional con *T. gregaria*, pero inversamente proporcional con *S. longicorne*.

Como se ha mencionado con anterioridad, en la temporada del estudio se presentaron anomalías negativas de temperatura superficial, causadas por el fenómeno de “La Niña”. La intensificación de los vientos del norte provoca que la termoclina de la parte Oriental del Pacífico se encuentre a menores profundidades y se registren bajas temperaturas en la zona superficial (Singh *et al.*, 2013). Tanto *T. gregaria* como *S. longicorne* son especies que habitan en la zona por debajo de la termoclina, por lo que los cambios abruptos de la superficie no les afectan tanto pues en la profundidad que habitan existe una temperatura más homogénea. Sin embargo, *S. longicorne* se encuentra por debajo de los 500 m de profundidad, lo que sugiere que se encuentra principalmente en aguas frías (Brinton, 1962; Brinton *et al.*, 2000). Al haber anomalías negativas en la superficie marina, pudo haber ampliado el rango de distribución vertical, provocando encontrar más de estas especies en la parte zona epipelágica, pues las condiciones fueron óptimas para ellas. Hay que mencionar también que las larvas de esta especie se encuentran en zonas menos profundas que los adultos pues migran hacia la parte superficial para poder alimentarse. Por su parte, a pesar de que *T. gregaria* también se encuentra por debajo de la termoclina, su relación directamente proporcional puede deberse a que tiene una mayor tolerancia a aguas cálidas, a diferencia de *S. longicorne*.

Por su parte, *T. spinifera* es una especie que habita principalmente ambientes neríticos con profundidades restringidas a menos de los 100 m. Se encuentra a lo largo de la costera occidental de América del Norte desde el sureste del Mar de Bering hasta las costas de Baja California, principalmente en primavera (Brinton, 1962; Brinton *et al.*, 2000). Sus altas densidades han sido asociadas con fuertes surgencias, las cuales son más intensas en primavera y verano. Estas surgencias incrementan los afloramientos costeros y el aporte de nutrientes hacia la superficie, lo que genera una fertilización de la región cercana a la costa y un crecimiento mayor de fitoplancton.

Finalmente, el análisis de agrupación interanual mostró que las agrupaciones obtenidas se hicieron principalmente por año y zona, aunque hubo agrupaciones con puntos de muestreo mezclados. De acuerdo con el MDS, las estaciones de muestreo del 2005 estuvieron dispersos, pero con una ligera agrupación hacia valores negativos tanto del eje x como del y, mientras los datos del 2011 tuvieron una ligera agrupación hacia valores positivos de ambos ejes. Las especies que tuvieron un mayor aporte a la similitud de la mayoría de los grupos fueron *E. pacifica*, *H. difficilis*, *T. gregaria* y *T. spinifera*. Al ser estas especies que habitan en la zona de transición, estarán siempre presentes en la zona de muestreo, pero con diferencias en su abundancia a causa de fenómenos ambientales como el ENSO.

Así también, hay que mencionar que, en ambos años, se identificaron un total de 25 especies de eufáusidos, de ellas, *E. diomedae*, *E. tenera* y *S. elongatum* estuvieron presente únicamente en el 2005, mientras que *H. gracilis*, *S. abbreviatum*, *T. egregia* y *T. orientalis* estuvieron presentes únicamente en el 2011. De las 18 especies restantes, *E. eximia*, *E. gibboides*, *E. hemigibba*, *E. mutica*, *E. pacifica*, *E. recurva*, *N. flexipes*, *N. simplex*, *S. affine*, *S. suhmi*, *T. astylata* y *T. gregaria* tuvieron diferencias significativas interanuales. La mayoría de las especies con diferencias significativas tienen afinidades a aguas más tropicales y oceánicas, pues pertenecen al grupo de especies ecuatoriales (*E. diomedae*, *E. eximia*, *E. tenera*) y del giro central subtropical (*E. mutica*, *T. astylata*, *E. hemigibba*, *E. recurva*) (Brinton, 1962; Russell y Young, 1969).

## Capítulo 5. Conclusiones

---

En este trabajo influyó en gran medida la presencia de anomalías negativas en la temperatura a causa de La Niña sobre la comunidad de eufáusidos, ya que las cuatro especies con mayor frecuencia y abundancia fueron aquellas afines a aguas templadas (*E. pacifica*, *H. difficilis*, *T. gregaria* y *T. spinifera*), mientras que, especies como *N. simplex* y *E. eximia*, las cuales tienen una afinidad a aguas cálidas estuvieron casi ausentes durante todo el año.

La variación estacional en densidad poblacional de las diferentes especies fue moderada y únicamente significativa para *T. gregaria*, con mínima abundancia en invierno.

Las fases de eufáusidos que se obtuvieron en mayor proporción fueron los juveniles, seguidos de las larvas furcilia, adultos y, finalmente, caliptopis. Estas últimas fueron las que mostraron más diferencias estacionales: *E. gibboides* y *S. longicorne* con máxima abundancia en primavera, mientras que *H. difficilis*, por el contrario, fue mínimo en primavera comparada con el resto del año. Las larvas furcilia de *E. pacifica* tuvieron mayores abundancias tanto en invierno como en primavera.

Especialmente *S. affine* y *S. longicorne* fueron las únicas especies que tuvieron diferencias zonales significativas en todas sus fases, excepto la fase caliptopis, con mayores abundancias en la región oceánica que en la costa.

No se observaron diferencias latitudinales en ninguna especie, excepto por los adultos de *E. pacifica* que fueron más abundantes en el transecto de Ensenada que en el de Punta Colonet.

La temperatura superficial tuvo una relación positiva con *T. gregaria*, e inversa con *S. longicorne*, mientras la clorofila-a integrada y la temperatura subsuperficial (a 200 m) tuvieron una relación positiva con *T. spinifera*.

Esta investigación puede contribuir a la construcción de series temporales a largo plazo pues era un año en el que no se había analizado la comunidad de eufáusidos. De igual manera, debido a que fue un estudio que analizó únicamente muestreos de la parte norte de Baja California, se recomienda ampliar la zona de muestreo para una mejor interpretación de los datos, así como un continuo análisis anual.

## Literatura citada

- Ambriz-Arreola, I. (2004). *Distribución, abundancia y composición de la comunidad de eufáusidos, durante el invierno de 1998 (El Niño) y 1999 (La Niña) en el sector sur de la Corriente de California*. [Tesis de Licenciatura, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Jalisco] Tesis en resguardo.
- Ambriz-Arreola, I. (2007). *Estudio multivariado de las comunidades de eufáusidos del sector sur de la Corriente de California durante el ciclo ENSO 1997-99*. [Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Baja California]. Repositorio Institucional. <https://biblioteca.cicese.mx/catalogo/tesis/ficha.php?id=17801>
- Barocio-León, O. A., Millán-Núñez, R., Santamaría del Ángel, E., González-Silvera, A. (2007). Productividad primaria del fitoplancton en la zona eufótica del Sistema de la Corriente de California estimada mediante imágenes del CZCS. *Ciencias Marinas*, 33(1), 59–72. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-38802007000100006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802007000100006&lng=es&tlng=es).
- Bjorkstedt, E. P., Goericke, R., McClatchie, S., Weber, E., Watson, W., Lo, N., Peterson, B., Emmett, B., Brodeur, R., Peterson, J., Litz, M., Gómez-Valdés, J., Gaxiola-Castro, G., Lavaniegos, B., Chavez, F., Collins, C. A., Field, J., Sakuma, K., Bograd, S. J., Schwing, F. B., Warzybok, P., Bradley, R., Jahncke, J., Campbell, G. S., Hildebrand, J. A., Sydeman, W., Thompson, S. A., Largier, J. L., Halle, C., Kim, S. & Abell, J. (2011). State of California Current 2010-2011: Regionally variable responses to a strong (but fleeting?) La Niña. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 52. [https://calcofi.org/downloads/publications/calcofireports/v52/Vol\\_52\\_CalCOFI\\_Reports.pdf](https://calcofi.org/downloads/publications/calcofireports/v52/Vol_52_CalCOFI_Reports.pdf)
- Bjorkstedt, E. P., Goericke, R., McClatchie, S., Weber, E., Watson, W., Lo, N., Peterson, W. T., Brodeur, R. D., Auth, T., Fisher, J., Morgan, C., Peterson, J., Largier, J., Bograd, S. J., Durazo, R., Gaxiola-Castro, G., Lavaniegos, B., Chavez, F., Collins, C. A., Hannah, B., Field, J., Sakuma, K., Satterthwaite, W., O'Farrell, M., Hayes, S., Harding, J., Sydeman, W., Thompson, S. A., Warzybok, P., Bradley, R., Jahncke, J., Golightly, R. T., Schneider, S. R., Suryan, R. M., Gladics, A. J., Horton, C. A., Kim, S. Y., Melin, S. R., DeLong, R. L. & Abell, J. (2012). State of California Current 2011–2012: Ecosystems respond to local forcing as La Niña wavers and wanes. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 53. [https://calcofi.org/downloads/publications/calcofireports/v53/Vol\\_53\\_CalCOFI\\_Reports.pdf#page=41](https://calcofi.org/downloads/publications/calcofireports/v53/Vol_53_CalCOFI_Reports.pdf#page=41)
- Boden, B. P., Johnson, M. W., & Brinton, E. (1955). The Euphausiacea (Crustacea) of the North Pacific. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*, 6(8). <https://escholarship.org/uc/item/62h3k734>
- Brinton, E. (1962). The distribution of Pacific euphausiids. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*, 8(2). <https://escholarship.org/uc/item/6db5n157>
- Brinton, E. (1967). *Distributional atlas of Euphausiacea (Crustacea) in the California Current region, Part I*. [California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports Atlas No. 5, 1-275]. [https://calcofi.org/downloads/publications/atlas/CalCOFI\\_Atlas\\_05.pdf](https://calcofi.org/downloads/publications/atlas/CalCOFI_Atlas_05.pdf)

- Brinton, E. (1973). *Distributional atlas of Euphausiacea (Crustacea) in the California Current region, Part II*. [California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports Atlas No. 18, 1-336]. <https://calcofi.org/downloads/publications/atlasses/CalCOFI Atlas 18.pdf>
- Brinton, E. (1996). Euphausiacea. En Gasca R. y Suárez, E. (Eds.), *Introducción al estudio del zooplancton marino* (pp. 29-341). ECOSUR/CONACYT.
- Brinton, E. & Townsend, A. W. (1980). *Euphausiids in the Gulf of California-the 1957 cruises. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 21. <https://calcofi.com/publications/calcofireports/v21/Vol 21 Brinton Townsend.pdf>
- Brinton, E. & Townsend, A. (2003). Decadal variability in abundances of the dominant euphausiid species in southern sectors of the California Current. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 50(14-16), 2449-2472. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(03\)00126-7](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(03)00126-7)
- Brinton, E., Ohman, M. D., Townsend, A. W., Knight, M. D. & Bridgeman, A. L. (2000). Euphausiids of the World Ocean (World Biodiversity Database CD-ROM Series). *Expert Center for Taxonomic Identification, University of Amsterdam, Amsterdam, Netherlands*. [https://euphausiids.linnaeus.naturalis.nl/linnaeus\\_ng/app/views/introduction/topic.php?id=11&epi=3](https://euphausiids.linnaeus.naturalis.nl/linnaeus_ng/app/views/introduction/topic.php?id=11&epi=3)
- Checkley, D. M., & Barth, J. A. (2009). Patterns and processes in the California Current System. *Progress in Oceanography*, 53(1-4), 49-64. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.07.028>
- Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18(1). <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x>
- Clarke, K. R. & Warwick, R. M. (1994). *Change in marine communities: approach to statistical analysis and interpretation*. Plymouth: Plymouth Marine Laboratory.
- Clarke, K. R., Somerfield, P.J. & Gorley, R. N. (2008). Testing of null hypotheses in exploratory community analyses: similarity profiles and biota-environmental linkage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366(56-69). <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.07.009>
- Douglass, E., Roemmich, D. & Stammer, D. (2006). Interannual variability in northeast Pacific circulation. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 111(4). <https://doi.org/10.1029/2005JC003015>
- Durazo, R., Ramírez-Manguilar, A. M., Miranda, L. E. y Soto-Mardones, L. A. (2010). Climatología de variables hidrográficas. En Gaxiola-Castro, G. y Durazo, R. (Eds.), *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California, 1997-2007* (pp. 25-58). SEMARNAT/INE/CICESE/ UABC.
- Fleminger, A. (1967). *Distributional atlas of calanoid copepods in the California Current Region, Part II*. [California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports No. 7, 1-313]. <https://calcofi.org/downloads/publications/atlasses/CalCOFI Atlas 07.pdf>
- Gaxiola-Castro, G., Cepeda-Morales, J., Nájera-Martínez, S., Espinosa-Carreón, T., De la Cruz-Orozco, M., Sosa-Avalos, R., Aguirre-Hernández, E. y Cantú-Ontiveros, J. (2010). Biomasa y producción de fitoplancton. En Gaxiola-Castro, G. y Durazo, R. (Eds.), *Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1977-2007* (pp. 59-85). SEMARNAT/INE/CICESE/UABC.
- Gómez, J. G. (1995). Distribution patterns, abundance and population dynamics of the euphausiids

- Nyctiphanes simplex and Euphausia eximia off the west coast of Baja California, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 119(63-76). <https://doi.org/10.3354/meps119063>
- Gómez-Gutiérrez, J. (1992). *Efecto de las condiciones ambientales sobre la distribución y abundancia de las poblaciones de eupausidos (Crustácea) en la costa occidental de Baja California, durante mayo de 1986, julio de 1987 y 1988*. [Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas]. Repositorio Institucional. <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/15295>
- Gómez-Gutiérrez, J., De Silva-Dávila, R. & Lavaniegos-Espejo, B. (1996). Growth production of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* on the coastal shelf off Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 138(1-3), 309-314. <https://doi.org/10.3354/meps138309>
- Gómez-Gutiérrez, J., Palomares-García, R. & Gendron, D. (1995). Community structure of the euphausiid populations along the west coast of Baja California, Mexico, during the weak ENSO 1986-1987. *Marine Ecology Progress Series*, 120(1-3), 41-52. <https://doi.org/10.3354/meps120041>
- Holm-Hansen, O., Lorenzen, C. J., Holmes, R. W. & Strickland, J. D. H. (1965). Fluorometric determination of chlorophyll. *ICES Journal of Marine Science*, 30(1), 3-15. <https://doi.org/10.1093/icesjms/30.1.3>
- Huyer, A., Kosro, P. M., Fleischbein, J., Ramp, S. R., Stanton, T., Washburn, L., Chavez, F. P., Cowles, T. J., Pierce, S. D. & Smith, R. L. (1991). Currents and water masses of the Coastal Transition Zone off northern California, June to August 1988. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 96(C80), 14809-14832. <https://doi.org/10.1029/91jc00641>
- Huyer, A., Barth, J. A., Kosro, P. M., Shearman, R. K. & Smith, R. L. (1998). Upper-ocean water mass characteristics of the California current, Summer 1993. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 45(8-9), 1411-1442. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(98\)80002-7](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(98)80002-7)
- Lavaniegos, B. E. (1994). Dispersion and development patterns in larvae of *Nyctiphanes simplex* (Euphausiacea) in the upwelling region off Baja California. *Marine Ecology Progress Series*, 106(3), 207-225. <https://www.int-res.com/articles/meps/106/m106p207.pdf>
- Lavaniegos, B. E. (1995). Production of *Nyctiphanes simplex* in Vizcaino Bay, Western Baja California. *Journal of Crustacean Biology*, 15(3), 444-453. <https://doi.org/10.2307/1548766>
- Lavaniegos, B. E. (2009). Influence of a multiyear event of low salinity on the zooplankton from Mexican eco-regions of the California Current. *Progress In Oceanography*, 83(1-4), 369-375. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.07.037>
- Lavaniegos, B. E. & Ambriz-Arreola, I. (2012). Interannual variability in krill off Baja California in the period 1997-2005. *Progress In Oceanography*, 97-100, 164-173. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.11.008>
- Lavaniegos, B. E., Jiménez-Herrera, M. & Ambriz-Arreola, I. (2019). Unusually low euphausiid biomass during the warm years of 2014-2016 in the transition zone of the California Current. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 169-170. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2019.104638>
- Lavaniegos, B. E., Jiménez-Pérez, L. C. & Gaxiola-Castro, G. (2002). Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progress in Oceanography*, 54(1-4), 33-58. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(02\)00042-3](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(02)00042-3)

- Lavaniegos, B. E., Ambriz-Arreola, I., Hereu, C. M., Jiménez-Pérez, L. C., Cadena-Ramírez, J. L. y García-García, P. (2010). Variabilidad estacional interanual del zooplancton. En Gaxiola-Castro, G. y Durazo, R. (Eds.), *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California, 1997-2007* (pp. 87–126). SEMARNAT/INE/CICESE/ UABC.
- Linacre, L. (2004). Community structure of euphausiids in the southern part of the California Current during October 1997 (El Niño) and October 1999 (La Niña). *California Cooperative Ocean Fisheries Investigation Reports*, 45, 126–135. <https://doi.org/10.4067/s0717-71782002030100029>
- Lynn, R. J. & Simpson, J. J. (1987). The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 92(12), 12947-12966. <https://doi.org/10.1029/jc092ic12p12947>
- Lynn, R. J., Bograd, S. J., Chereskin, T. K. & Huyer, A. (2003). Seasonal renewal of the California Current: The spring transition off California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108(8), 3279. <https://doi.org/10.1029/2003jc001787>
- McGarigal, K., Cushman, S. & Stafford, S. (2000). Canonical Correlation Analysis. In McGarigal, K., Cushman, S. & Stafford, S. *Multivariate Statistics for Wildlife and Ecology Research* (pp. 189-230). Springer.
- Mauchline, J. & Fisher, L. R. (1969). The Biology of Euphausiids. *Advances in Marine Biology*, 7(C), 1-454. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(08\)60468-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(08)60468-X)
- Neshyba, S. (1986). *Oceanography Perspectives on a fluid earth*. John Wiley & Sons, 506 .
- Pacific Fisheries Environmental Laboratory (15 de abril del 2024). *Upwelling Indices*. [ERD \(noaa.gov\)](http://ERD.noaa.gov)
- Parés-Escobar, F., Lavaniegos, B. E. & Ambriz-Arreola, I. (2018). Interannual summer variability in oceanic euphausiid communities off the Baja California western coast during 1998–2008. *Progress in Oceanography*, 160, 53–67. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.11.009>
- Rebstock, G. A. (2003). Long-term change and stability in the California Current System: Lessons from CalCOFI and other long-term data sets. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 50(14-16), 2583-2594. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(03\)00124-3](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(03)00124-3)
- Roden, G. I. (1971). Aspects of the transition zone in the northeastern Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 76(15), 3462-3475. <https://doi.org/10.1029/jc076i015p03462>
- Russell, F. S. & Young, M. (1969). The biology of euphausiids. *Advances in Marine Biology* (Vol. 7). Academic Press.
- Singh, P., Chowdary, J. & Gnanaseelan, C. (2013). Impact of prolonged La Niña events on the Indian Ocean with a special emphasis on southwest Tropical Indian Ocean SST. *Global and Planetary Change*, 100, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.010>
- Talley, L. D., Pickard, G. L., Emery, W. J. & Swift, J. H. (2011). Pacific Ocean. In Talley, L. D., Pickard, G. L., Emery, W. J. & Swift, J. H. *Descriptive Physical Oceanography: An introduction* (6<sup>th</sup> ed.), Elsevier Ltd.

Venrick, E. & Hayward, T. L. (1984). Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys. [California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports No. 25, 74–79].  
[https://calcofi.org/downloads/publications/calcofireports/v25/Vol\\_25\\_Venrick\\_Hayward.pdf](https://calcofi.org/downloads/publications/calcofireports/v25/Vol_25_Venrick_Hayward.pdf)

Zar, J. H. (2010). Biostatistical analysis (5<sup>th</sup> ed.). Pearson Education

## Anexos

### Anexo A

**Tabla 6.** Resultados estadísticos de la comparación no paramétrica de las abundancias (ind/1000 m<sup>3</sup>) entre estaciones del año de cada fase de desarrollo de las especies más relevantes. Abreviaturas: Sin Presencia (SP).

<b>Fase</b>	<b>Especie</b>	<b>H</b>	<b>p</b>
<b>Caliptopis</b>	<i>E. gibboides</i>	8.252	<b>0.041</b>
	<i>E. pacifica</i>	3.418	0.332
	Grupo 1A	1.261	0.739
	<i>H. difficilis</i>	8.351	<b>0.039</b>
	<i>S. affine</i>	<b>SP</b>	<b>SP</b>
	<i>S. longicorne</i>	10.336	<b>0.016</b>
	<i>S. maximum</i>	1.809	0.613
	<i>T. gregaria</i>	3.017	0.389
	<i>T. spinifera</i>	3.625	0.305
<b>Furcilia</b>	<i>E. gibboides</i>	6.998	0.072
	<i>E. pacifica</i>	10.374	<b>0.016</b>
	Grupo 1A	6.360	0.095
	<i>H. difficilis</i>	4.929	0.177
	<i>S. affine</i>	1.536	0.674
	<i>S. longicorne</i>	3.556	0.314
	<i>S. maximum</i>	5.698	0.127
	<i>T. gregaria</i>	4.685	0.196
	<i>T. spinifera</i>	1.148	0.766
<b>Juveniles</b>	<i>E. gibboides</i>	6.198	0.102
	<i>E. pacifica</i>	2.922	0.404
	<i>E. recurva</i>	3.588	0.310
	<i>H. difficilis</i>	1.894	0.595
	<i>S. affine</i>	1.670	0.644
	<i>S. longicorne</i>	3.171	0.366
	<i>S. maximum</i>	3.222	0.359
	<i>T. gregaria</i>	7.437	0.059
	<i>T. spinifera</i>	3.398	0.334
<b>Adultos</b>	<i>E. gibboides</i>	3.869	0.276
	<i>E. pacifica</i>	4.508	0.212
	<i>E. recurva</i>	1.188	0.756
	<i>H. difficilis</i>	1.506	0.681
	<i>S. affine</i>	2.203	0.532
	<i>S. longicorne</i>	6.736	0.081
	<i>S. maximum</i>	<b>SP</b>	<b>SP</b>
	<i>T. gregaria</i>	5.171	0.160
	<i>T. spinifera</i>	2.652	0.449

## Anexo B

**Tabla 7.** Resultados estadísticos de la comparación no paramétrica de las abundancias (ind/1000 m<sup>3</sup>) entre transectos latitudinales de cada fase de desarrollo de las especies más relevantes. Abreviaturas: Sin Presencia (SP).

<b>Fase</b>	<b>Especie</b>	<b>Z</b>	<b>p</b>
<b>Caliptopis</b>	<i>E. gibboides</i>	-0.710	0.626
	<i>E. pacifica</i>	0.042	0.969
	Grupo 1A	-0.242	0.870
	<i>H. difficilis</i>	-0.690	0.499
	<i>S. affine</i>	<b>SP</b>	<b>SP</b>
	<i>S. longicorne</i>	-0.256	1.000
	<i>S. maximum</i>	1.473	0.230
	<i>T. gregaria</i>	0.578	0.736
	<i>T. spinifera</i>	-0.973	1.000
<b>Furcilia</b>	<i>E. gibboides</i>	0.505	0.595
	<i>E. pacifica</i>	0.594	0.562
	Grupo 1A	0.169	0.816
	<i>H. difficilis</i>	-0.334	0.753
	<i>S. affine</i>	-0.935	0.358
	<i>S. longicorne</i>	1.781	0.076
	<i>S. maximum</i>	1.281	0.205
	<i>T. gregaria</i>	0.730	0.475
	<i>T. spinifera</i>	-0.546	0.868
<b>Juveniles</b>	<i>E. gibboides</i>	-0.870	0.397
	<i>E. pacifica</i>	1.672	0.096
	<i>E. recurva</i>	0.402	0.707
	<i>H. difficilis</i>	0.972	0.339
	<i>S. affine</i>	0.192	0.862
	<i>S. longicorne</i>	0.460	0.655
	<i>S. maximum</i>	-1.081	0.292
	<i>T. gregaria</i>	-0.471	0.647
	<i>T. spinifera</i>	-0.047	0.949
<b>Adultos</b>	<i>E. gibboides</i>	-1.194	0.237
	<i>E. pacifica</i>	2.173	<b>0.030</b>
	<i>E. recurva</i>	-1.141	0.260
	<i>H. difficilis</i>	0.732	0.478
	<i>S. affine</i>	1.718	0.087
	<i>S. longicorne</i>	0.275	0.793
	<i>S. maximum</i>	<b>SP</b>	<b>SP</b>
	<i>T. gregaria</i>	0.685	0.503
	<i>T. spinifera</i>	-0.444	0.652

## Anexo C

**Tabla 8.** Resultados estadísticos de la comparación no paramétrica de las abundancias (ind/1000 m<sup>3</sup>) entre zonas (costera y oceánica) de cada fase de desarrollo de las especies más relevantes. Abreviaturas: Solo océanos (SO); Sin Presencia (SP); Solo Costa (SC).

Fase	Especie	Z	p
Caliptopis	<i>E. gibboides</i>	SO	SO
	<i>E. pacifica</i>	1.435	0.195
	Grupo 1A	-1.998	<b>0.042</b>
	<i>H. difficilis</i>	1.565	0.120
	<i>S. affine</i>	SP	SP
	<i>S. longicorne</i>	SO	SO
	<i>S. maximum</i>	-0.078	0.743
	<i>T. gregaria</i>	0.546	0.868
	<i>T. spinifera</i>	SC	SC
Furcilia	<i>E. gibboides</i>	-2.079	<b>0.030</b>
	<i>E. pacifica</i>	1.484	0.141
	Grupo 1A	-2.574	<b>0.005</b>
	<i>H. difficilis</i>	-0.091	0.940
	<i>S. affine</i>	-1.997	<b>0.046</b>
	<i>S. longicorne</i>	-2.832	<b>0.004</b>
	<i>S. maximum</i>	-1.921	0.055
	<i>T. gregaria</i>	-0.046	0.970
	<i>T. spinifera</i>	0.546	0.868
Juveniles	<i>E. gibboides</i>	-2.827	<b>0.004</b>
	<i>E. pacifica</i>	-0.365	0.724
	<i>E. recurva</i>	-0.877	0.390
	<i>H. difficilis</i>	-2.492	<b>0.012</b>
	<i>S. affine</i>	-3.069	<b>0.002</b>
	<i>S. longicorne</i>	-2.884	<b>0.003</b>
	<i>S. maximum</i>	-3.207	<b>0.001</b>
	<i>T. gregaria</i>	-1.733	0.084
	<i>T. spinifera</i>	1.704	0.135
Adultos	<i>E. gibboides</i>	-1.657	0.100
	<i>E. pacifica</i>	1.867	0.064
	<i>E. recurva</i>	-3.454	<b>0.000</b>
	<i>H. difficilis</i>	0.976	0.341
	<i>S. affine</i>	-4.171	<b>0.000</b>
	<i>S. longicorne</i>	-3.311	<b>0.001</b>
	<i>S. maximum</i>	SP	SP
	<i>T. gregaria</i>	-2.710	<b>0.006</b>
	<i>T. spinifera</i>	SC	SC

## Anexo D

**Tabla 9.** Correlación de Pearson entre las variables dependientes e independientes de los datos colectados durante 2011. Los números en naranja muestran aquellos valores con correlaciones moderadas ( $0.7 < r > 0.4$ ;  $p < 0.005$ ), mientras que en rojo se muestran aquellos valores con altas correlaciones ( $r > 0.7$ ;  $p < 0.005$ ).

	<i>E.e</i>	<i>E.g</i>	<i>E.h</i>	<i>E.m</i>	<i>E.p</i>	<i>E.r</i>	<i>H.a</i>	<i>H.d</i>	<i>N.f</i>	<i>H.g</i>	<i>N.s</i>	<i>H.t</i>	<i>S.abb.</i>	<i>S.aff.</i>	<i>S.l</i>	<i>S.m</i>	<i>S.s</i>	<i>T.a</i>	<i>T.e</i>	<i>T.g</i>	<i>T.o</i>	<i>T.s</i>	temp	sal	clor	temp200	sal200
<i>E.eximia (E.e)</i>	1	0.121	0.117	0.049	-0.107	0.204	-0.083	-0.044	0.313	-0.061	-0.084	0.478	-0.049	0.120	0.242	-0.004	-0.080	0.273	-0.061	0.081	-0.065	-0.078	0.077	-0.016	-0.203	-0.245	0.001
<i>E.gibboides (E.g)</i>	0.121	1	-0.039	-0.061	-0.142	0.005	0.095	-0.109	0.060	-0.062	-0.080	0.026	0.297	0.565	0.120	0.008	-0.050	0.172	0.127	0.049	-0.058	-0.081	0.053	-0.029	-0.130	-0.087	0.064
<i>E.hemigibba (E.h)</i>	0.117	-0.039	1	-0.062	0.019	0.433	-0.064	0.309	0.106	-0.047	-0.064	-0.060	0.086	-0.047	0.104	0.189	-0.061	-0.073	-0.047	0.058	-0.050	-0.061	0.164	0.198	0.026	-0.190	0.065
<i>E.mutica (E.m)</i>	0.049	-0.061	-0.062	1	0.397	-0.059	-0.050	0.030	0.100	-0.037	-0.051	-0.011	-0.099	-0.066	0.074	-0.139	-0.048	-0.057	-0.037	-0.040	-0.039	-0.047	-0.144	0.007	-0.009	-0.230	0.037
<i>E.pacifica (E.p)</i>	-0.107	-0.142	0.019	0.397	1	-0.157	-0.041	0.405	-0.131	-0.101	-0.057	-0.119	0.101	-0.190	0.002	-0.255	-0.065	-0.164	-0.039	-0.276	-0.035	-0.117	-0.088	0.077	0.032	-0.185	0.081
<i>E.recurva (E.r)</i>	0.204	0.005	<b>0.433</b>	-0.059	-0.157	1	-0.089	0.163	0.228	-0.101	-0.138	0.184	0.131	0.191	0.091	0.050	0.064	0.234	-0.078	-0.101	-0.052	-0.131	0.285	0.127	-0.066	-0.198	0.170
<i>H.atlantica (H.a)</i>	-0.083	0.095	-0.064	-0.050	-0.041	-0.089	1	-0.041	0.221	-0.038	-0.007	-0.049	-0.102	-0.065	0.297	0.125	-0.050	-0.059	0.943	0.149	-0.040	-0.050	-0.136	-0.140	-0.111	-0.038	0.000
<i>H.difficilis (H.d)</i>	-0.044	-0.109	0.309	0.030	<b>0.405</b>	0.163	-0.041	1	-0.135	-0.130	0.063	-0.134	-0.034	0.040	0.160	0.191	0.064	-0.205	-0.028	0.102	0.085	-0.109	-0.044	0.060	0.237	-0.181	0.159
<i>N.flexipes (N.f)</i>	0.313	0.060	0.106	0.100	-0.131	0.228	0.221	-0.135	1	-0.078	-0.098	0.700	-0.177	0.401	0.392	0.295	-0.069	0.780	0.265	0.063	-0.083	-0.101	-0.136	-0.338	-0.299	-0.242	-0.009
<i>H.gracilis (H.g)</i>	-0.061	-0.062	-0.047	-0.037	-0.101	-0.101	-0.038	-0.130	-0.078	1	-0.038	-0.036	-0.075	-0.087	-0.114	-0.120	-0.036	-0.043	-0.028	-0.019	-0.029	-0.036	-0.049	0.026	-0.139	0.074	0.154
<i>N.simplex (N.g)</i>	-0.084	-0.080	-0.064	-0.051	-0.057	-0.138	-0.007	0.063	-0.098	-0.038	1	-0.049	-0.103	-0.165	-0.202	-0.158	-0.050	-0.059	-0.010	-0.230	-0.040	0.427	-0.329	0.085	-0.060	0.496	-0.630
<i>H.tenella (H.t)</i>	<b>0.478</b>	0.026	-0.060	-0.011	-0.119	0.184	-0.049	-0.134	<b>0.700</b>	-0.036	-0.049	1	-0.052	0.192	-0.002	-0.009	-0.047	0.728	-0.036	-0.073	-0.038	-0.046	-0.038	-0.267	-0.182	-0.189	-0.113
<i>S.abbreviatum (S.abb.)</i>	-0.049	0.297	0.086	-0.099	0.101	0.131	-0.102	-0.034	-0.177	-0.075	-0.103	-0.052	1	0.357	0.084	-0.113	-0.098	-0.062	-0.075	-0.056	-0.080	-0.097	0.239	0.132	-0.027	-0.048	0.228
<i>S.affine (S.aff.)</i>	0.120	<b>0.565</b>	-0.047	-0.066	-0.190	0.191	-0.065	0.040	<b>0.401</b>	-0.087	-0.165	0.192	0.357	1	0.282	0.165	0.059	0.588	-0.032	0.172	0.022	-0.158	0.129	-0.095	-0.188	-0.146	0.160
<i>S.longicorne (S.l)</i>	0.242	0.120	0.104	0.074	0.002	0.091	0.297	0.160	0.392	-0.114	-0.202	-0.002	0.084	0.282	1	0.490	-0.035	0.167	0.226	0.071	-0.024	-0.201	-0.294	-0.344	-0.296	-0.477	0.247
<i>S.maximum (S.m)</i>	-0.004	0.008	0.189	-0.139	-0.255	0.050	0.125	0.191	0.295	-0.120	-0.158	-0.009	-0.113	0.165	<b>0.490</b>	1	0.040	0.084	0.106	0.307	0.060	-0.149	-0.099	-0.218	-0.186	-0.109	0.320
<i>S.suhmi (S.s)</i>	-0.080	-0.050	-0.061	-0.048	-0.065	0.064	-0.050	0.064	-0.069	-0.036	-0.050	-0.047	-0.098	0.059	-0.035	0.040	1	-0.007	-0.036	-0.114	0.961	-0.047	-0.185	-0.408	-0.070	0.029	0.134
<i>T.astylata (T.a)</i>	0.273	0.172	-0.073	-0.057	-0.164	0.234	-0.059	-0.205	<b>0.780</b>	-0.043	-0.059	<b>0.728</b>	-0.062	<b>0.588</b>	0.167	0.084	-0.007	1	-0.043	-0.145	-0.046	-0.056	-0.054	-0.212	-0.269	-0.146	-0.093
<i>T.egregia (T.e)</i>	-0.061	0.127	-0.047	-0.037	-0.039	-0.078	<b>0.943</b>	-0.028	0.265	-0.028	-0.010	-0.036	-0.075	-0.032	0.226	0.106	-0.036	-0.043	1	0.211	-0.029	-0.036	-0.024	-0.050	-0.072	0.001	0.041
<i>T.gregaria (T.g)</i>	0.081	0.049	0.058	-0.040	-0.276	-0.101	0.149	0.102	0.063	-0.019	-0.230	-0.073	-0.056	0.172	0.071	0.307	-0.114	-0.145	0.211	1	-0.078	-0.147	0.468	0.194	0.266	-0.126	0.246
<i>T.orientalis (T.o)</i>	-0.065	-0.058	-0.050	-0.039	-0.035	-0.052	-0.040	0.085	-0.083	-0.029	-0.040	-0.038	-0.080	0.022	-0.024	0.060	<b>0.961</b>	-0.046	-0.029	-0.078	1	-0.038	-0.241	-0.428	-0.048	0.031	0.129
<i>T.spinifera (T.s)</i>	-0.078	-0.081	-0.061	-0.047	-0.117	-0.131	-0.050	-0.109	-0.101	-0.036	<b>0.427</b>	-0.046	-0.097	-0.158	-0.201	-0.149	-0.047	-0.056	-0.036	-0.147	-0.038	1	-0.301	0.040	0.487	0.575	-0.495
temp. sup.	0.077	0.053	0.164	-0.144	-0.088	0.285	-0.136	-0.044	-0.136	-0.049	-0.329	-0.038	0.239	0.129	-0.294	-0.099	-0.185	-0.054	-0.024	<b>0.468</b>	-0.241	-0.301	1	0.670	0.158	-0.255	0.262
sal. Sup.	-0.016	-0.029	0.198	0.007	0.077	0.127	-0.140	0.060	-0.338	0.026	0.085	-0.267	0.132	-0.095	-0.344	-0.218	<b>-0.408</b>	-0.212	-0.050	0.194	<b>-0.428</b>	0.040	<b>0.670</b>	1	0.135	0.044	-0.052
clorofila	-0.203	-0.130	0.026	-0.009	0.032	-0.066	-0.111	0.237	-0.299	-0.139	-0.060	-0.182	-0.027	-0.188	-0.296	-0.186	-0.070	-0.269	-0.072	0.266	-0.048	<b>0.487</b>	0.158	0.135	1	0.217	-0.025
temp200	-0.245	-0.087	-0.190	-0.230	-0.185	-0.198	-0.038	-0.181	-0.242	0.074	<b>0.496</b>	-0.189	-0.048	-0.146	<b>-0.477</b>	-0.109	0.029	-0.146	0.001	-0.126	0.031	<b>0.575</b>	-0.255	0.044	0.217	1	-0.475
sal200	0.001	0.064	0.065	0.037	0.081	0.170	0.000	0.159	-0.009	0.154	<b>-0.630</b>	-0.113	0.228	0.160	0.247	0.320	0.134	-0.093	0.041	0.246	0.129	<b>-0.495</b>	0.262	-0.052	-0.025	<b>-0.475</b>	1

## Anexo E

**Tabla 10. A)** Análisis de Correlación Canónica para las 22 variables dependientes y 5 independientes. **B)** Matriz completa de las correlaciones para cada variante. En rojo se muestran correlaciones mayores a 0.5. Abreviaturas: temperatura superficial (temp), salinidad superficial (sal), clorofila integrada (clor), temperatura a 200 m (temp200), salinidad a 200 m (sal200), *E. eximia* (E.e), *E. gibboides* (E.g), *E. hemigibba* (E. h), *E. mutica* (E. m), *E. pacifica* (E. p), *E. recurva* (E.r), *H. atlantica* (H. a), *H. difficilis* (H.d), *H. gracilis* (H. g), *H. tenella* (H. t), *N. flexipes* (N. f), *N. simplex* (N. s), *S. abbreviatum* (S. abb), *S. affine* (S. aff), *S. longicorne* (S.l), *S. máximo* (S.m), *S. suhmi* (S. s), *T. astylata* (T. a), *T. egregia* (T. e), *T. gregaria* (T.g), *T. orientalis* (T. o) y *T. spinifera* (T.s).

A)

A	CanR	CanRSQ	Eigen	percent	Pr(> F)
1	0.933	0.870	6.679	42.796	0.197
2	0.919	0.844	5.396	34.577	0.497
3	0.800	0.640	1.776	11.382	0.893
4	0.708	0.501	1.005	6.440	0.928
5	0.655	0.429	0.750	4.805	0.860

B)

Variables	X1	X2	X3	X4	X5
temp	-0.472	<b>-0.706</b>	0.291	-0.432	0.086
sal	0.064	<b>-0.660</b>	0.027	<b>-0.610</b>	-0.433
clor	<b>0.581</b>	<b>-0.561</b>	0.445	0.272	0.275
temp200	0.353	-0.420	<b>-0.737</b>	0.396	-0.011
sal200	<b>-0.544</b>	-0.038	<b>0.621</b>	0.387	-0.408
E.e	-0.177	0.174	0.059	-0.301	0.110
E.g	-0.171	0.056	-0.007	-0.046	0.017
E.h	0.003	-0.050	0.220	-0.292	-0.132
E.m	0.189	0.247	0.255	-0.171	-0.231
E.p	0.179	0.144	0.259	-0.134	-0.318
E.r	-0.272	-0.107	0.166	-0.184	0.015
H.a	-0.024	0.185	-0.042	0.058	0.004
H.d	0.244	0.029	0.438	0.023	-0.225
N.f	-0.235	0.415	-0.021	-0.052	0.332
H.g	-0.115	0.003	-0.107	0.167	-0.385
N.s	0.462	0.034	<b>-0.700</b>	-0.199	-0.027
H.t	-0.176	0.277	-0.032	-0.138	<b>0.520</b>
S.abb	-0.254	-0.195	0.086	0.036	-0.149
S.aff	-0.356	0.053	0.020	0.015	0.124
S.l	-0.115	<b>0.634</b>	0.336	0.008	-0.155
S.m	-0.273	0.185	0.078	0.345	-0.203
S.s	-0.185	0.185	-0.043	0.493	0.253
T.a	-0.208	0.277	-0.123	-0.147	0.326
T.e	-0.077	0.042	-0.043	0.061	-0.028
T.g	-0.217	-0.422	0.363	-0.009	0.213
T.o	-0.122	0.221	-0.021	<b>0.520</b>	0.217
T.s	0.739	-0.238	-0.301	0.228	0.154